

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Теплофизика в теплоэнергетике

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ГРАНУЛИРОВАННОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

УДК 678.742.2:628.356.15:628.511

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ72	Боровиков Сергей Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова	Разва Александр Сергеевич	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, профессор ресурсоэффективность и
ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент, Отделения социально- гуманитарных наук	Жаворонок Анастасия Валерьевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, Отделения общетехнических дисциплин	Куликова Ольга Александровна	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель профиля	Борисов Борис Владимирович	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2019 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Теплофизика в теплоэнергетике

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель профиля

Борисов Борис Владимирович

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту

Группа	ФИО
5БМ72	Боровикову Сергею Сергеевичу

Тема работы:

**Усовершенствование системы очистки гранулированного полиэтилена от
технологических примесей**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

От 04.02.2019 №837/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

- 1) Экспериментальный стенд, скомпонованный из сепаратора, вихревой камеры и рукавного фильтра, предназначенный для очистки гранул полиэтилена высокого давления от волокон, стружки и пыли.
- 2) Путем изменения схемы экспериментального стенда добиться наилучшего результаты очистки.
- 3) Для определения скоростей используется расходомер. Организация потока смеси гранул, примесей и воздуха осуществляется центробежным вентилятором и воздуходувкой.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).

- 1) Проанализировать и сделать аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений существующих методик очистки;
- 2) Модернизировать экспериментальный стенд для исследования;
- 3) Провести исследования основных характеристик потока гранул и оценить эксплуатационные показатели экспериментальной установки;
- 4) Создать методические указания исследования;
- 5) Сформулировать обоснование новых технических решений элементов инерционных пылеуловителей, повышающих надежность и эффективность;
- 6) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;
- 7) Социальная ответственность.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Жаворонок А.В., ассистент, отделения социально-гуманитарных наук
Социальная ответственность	Куликова О.А., доцент, отделения общетехнических дисциплин
Раздел ВКР на иностранном языке	Обсков А.В., старший преподаватель, отделения иностранных языков
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение	
Существующие сведения о системах очистки полиэтилена высокого давления от технологических примесей (язык написания – русский)	
Применение пневматических классификаторов для фракционирования гранулированных материалов (язык написания – русский)	
Исследование характеристик потока с дисперсной фазой и оценка эксплуатационных показателей экспериментальной установки (язык написания – русский)	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение (язык написания – русский)	
Социальная ответственность (язык написания – русский)	
Заключение (язык написания – русский)	
Improvement of a granulated polyethylene cleaning system from technological impurities (язык написания – английский)	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова	Разва Александр Сергеевич	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ72	Боровиков Сергей Сергеевич		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Теплофизика в теплоэнергетике

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.10.18	Составление обзора литературы по тематике диссертации.	10
15.10.18	Описание аппаратов для очистки воздуха.	10
30.10.18	Анализ эффективности газоочистки различных аппаратов.	10
15.01.18	Обработка результатов параметрических исследований.	10
27.11.18	Выступления на конференции.	10
10.02.19	Анализ факторов, влияющих на эффективность сепарации.	10
10.03.19	Проведение испытаний по очистке гранулята	20
20.04.19	Написание первого варианта диссертации	10
20.05.19	Написание окончательного варианта диссертации	10

СОСТАВИЛ

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова	Разва А.С.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель профиля	Борисов Борис Владимирович	д.ф.-м.н., профессор		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ72	Боровикову Сергею Сергеевичу

Школа	ИШЭ	Отделение	Теоретическая и промышленная теплоэнергетика
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01. Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость ресурсов принимается в соответствии с рыночной ценой.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиций ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Разработка инвестиционного плана и оценка рисков.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НТИ
4. Расчёт денежного потока
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.02.2019 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Жаворонок Анастасия Валерьевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ72	Боровиков Сергей Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ72	Боровикову Сергею Сергеевичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	Теоретическая и промышленная теплоэнергетика
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01. Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

Усовершенствование системы очистки гранулированного полиэтилена от технологических примесей	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Экспериментальный стенд, скомпонованный из сепаратора, вихревой камеры и рукавного фильтра, предназначенный для очистки гранул полиэтилена высокого давления от волокон, стружки и пыли.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Правовая основа по обеспечению охраны труда и безопасности на рабочем месте основывается на Конституцию РФ и состоит из ряда федеральных законов и нормативно правовых актов, таких как; <ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.2.032 – 78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – СанПиН 2.2.2.542-96. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> – Воздействие вредных излучений от компьютера и монитора; – Опасность поражения электрическим током; – Неблагоприятный микроклимат; – Ненормированный уровень шума; – Вибрационное воздействие – Повышенная запыленность
3. Экологическая безопасность:	При транспортировке гранулированных материалов образуется примесь в виде стружки, волокон, пыли, которая ухудшает качество товарного продукта. Без использования необходимых средств по очистке материала, эти примеси будут загрязнять продукт и воздух, выбрасываемый в атмосферу.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Пожар (причиной возникновения пожара может стать нарушение противопожарного

	режима, ненадлежащее соблюдение профилактических мероприятий, отсутствие первичных средств пожаротушения).
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.02.2019 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Куликова Ольга Александровна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ72	Боровиков Сергей Сергеевич		

ПЛАНИРУЕМЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код	Результат обучения
Общие по направлению подготовки	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	Иметь представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии отрасли, навыки проведения работ с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
По профилям подготовки	
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области теплоэнергетики и теплотехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества теплоэнергетического и теплотехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области теплоэнергетики и теплотехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Осваивать новое теплоэнергетическое и теплотехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение теплоэнергетического и теплотехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 145 страниц, 21 рисунок, 52 таблиц, 61 источник литературы, 2 приложения.

Ключевые слова: гранулированный материал, гранулы, воздух, аппарат комплексной очистки, криволинейный канал, центробежный сепаратор, классификация, технологическая пыль, ПЭВД.

Объектом исследования является реальная неочищенная смесь гранулированного полиэтилена, включающая в себя технологические примеси.

Цель работы: проанализировать системы очистки смеси гранулированного полиэтилена и воздуха от вредных примесей, для того чтобы совершенствовать эффективность процесса классификации и разработать предложения по повышению эффективности очистки гранул.

В процессе проведения экспериментальных исследований проанализирован метод очистки смеси гранулированного полиэтилена и воздуха от вредных технологических примесей и его различные вариации.

Сформулировано обоснование новых технических решений элементов инерционных пылеуловителей, повышающих надежность и эффективность.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: смесь вводилась в установку через входной патрубок. Скорость потока смеси, создаваемая центробежным вентилятором, имело значение в 22 м/с. Общая масса смеси, подаваемая во входной канал, имела массу 657,8 гр. из которой масса гранул составляла 651,3 гр., а масса стружки 6,5 гр. (10% от массы гранул).

Область применения: промышленные и гражданские предприятия.

Экономическое обоснование предлагаемой конструкции основано на совершенствовании различных устройств технологической схемы очистки ПЭВД, не требующей больших финансовых затрат и имеющих небольшой срок окупаемости.

Обозначения и сокращения

ПЭВД – полиэтилен высокого давления; НИИОГАЗ – научно исследовательский институт по промышленной и санитарной очистке газов; центробежный сепаратор; вихревая камера.

Q - производительность экспериментальной установки, $\text{м}^3/\text{ч}$; V - скорость воздуха в канале, $\text{м}/\text{с}$; Q - количество воздуха, сбрасываемого через центральный патрубок концентратора, $\text{м}^3/\text{ч}$; q_1 – количества воздуха, сбрасываемого через циклон, $\text{м}^3/\text{ч}$. $Q_{\text{вх}}$ – количество воздуха, входящего в концентратор, $\text{м}^3/\text{ч}$; $C_{\text{вх.прим}}$ - содержание примеси в воздухе, $(\text{кг}/\text{м}^3)$; $G_{\text{гр}}$ - количество гранул, $\text{кг}/\text{ч}$; $C_{\text{гр}}$ - необходимая концентрация гранул в потоке воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; $q_{\text{отв}}$ - количество загрязненного потока в циклоне, $\text{м}^3/\text{ч}$; P – разгрузитель;

Классификация (сепарация) - это разделение материала на фракции; фракция - набор гранул, зерен и частиц вещества, размеры которых заключены в определенном диапазоне.

Дисперсная система - образования из двух или большего числа фаз (тел), которые практически не смешиваются и не реагируют друг с другом химически.

"Testo-512"– дифференциальный манометр серии "Testo-512".

Оглавление

Введение.....	13
1. Существующие сведения о системах очистки полиэтилена высокого давления от технологических примесей	15
1.1 Характеристика технологии разделения полиэтилена от примесей..	15
1.2 Характерность процессов, которые определяют методы очистки полиэтилена и воздуха от пыли и стружки	17
1.3 Общие сведения о существующих системах инерционной очистки воздуха и гранулированных материалов от волокнистых примесей.....	19
2. Применение пневматических классификаторов для фракционирования гранулированного материала	20
2.1 Теоретические основы процесса классификации и выбор модели классификатора.....	20
2.1.1 Основные конструктивные параметры модели	20
2.2 Современные конструкции классификаторов для сыпучих материалов	25
2.3 Описание экспериментальной установки, принципа работы пневматического классификатора и оценка исследования.....	37
2.4 Выводы по разделу пневматической классификации	40
3. Исследование характеристик потока с дисперсной фазой и оценка эксплуатационных показателей экспериментальной установки.....	41
3.1 Разработка методов и средств очистки воздуха и гранулированного материала от волокнистых примесей	41
3.2 Описание экспериментального стенда	51
3.3 Методика проведения эксперимента	55
3.4 Обработка результатов измерений.....	62
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .	64
4.1 Предпроектный анализ	65
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	65
4.1.2 Анализ конкурентных решений	66
4.1.3 SWOT-анализ	67
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	70
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	71
4.2 Инициация проекта	72
4.2.1 Цели и результаты проекта	72
4.2.2 Ограничения и допущения проекта	73
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом	74
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	74
4.3.2 План проекта	75
4.3.3 Бюджет научного исследования.....	77
4.3.4 Организационная структура проекта	84
4.3.5 План управления коммуникациями проекта.....	85

4.3.6 Реестр рисков проекта	86
4.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	90
4.4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования.....	90
4.4.2 Чистая текущая стоимость (NPV)	90
4.4.3 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	94
Выводы по главе.....	97
5. Социальная ответственность	98
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .	98
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	99
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	100
5.2 Профессиональная социальная безопасность	102
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования	103
5.2.2 Воздействие вредных излучений от компьютера и монитора ..	103
5.2.3 Опасность поражения электрическим током	104
5.2.4 Повышенная запыленность.....	106
5.2.5 Повышенный уровень вибрации	107
5.2.6 Уровень шума.....	108
5.2.7 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	108
5.3 Экологическая безопасность.....	109
5.3.1 Загрязнение атмосферы.....	109
5.3.2 Загрязнение гидросферы	110
5.3.3 Загрязнение литосферы	110
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	111
Выводы по главе.....	112
Заключение	114
Список публикаций.....	115
Список использованной литературы.....	116
Приложение А	122
Приложение Б.....	140

Введение

Загрязнение окружающей среды пылевидными веществами приводит к катастрофическим последствиям как для самой природы в целом, так и населяющими их живыми существами, в частности, человека. Тонкодисперсная пыль, имея малую плотность, отлично рассеивается и переносится на значительные пространства потоками атмосферного воздуха [1].

Пыль негативно влияет на организм человека и может стать следствием появления множеств заболеваний. В числе специфичных профессиональных болезней может возникнуть пневмокониоз – болезнь легких. Технологическая пыль причиняет вред верхним дыхательным путям, из-за чего истончается слизистая оболочка носа и задней стенки глотки.

Наиболее правильным и эффективным способом борьбы с технической пылью является санитарно-технические мероприятия. Удаление пыли посредством использования различных пневмокласификаторов. Необходимо создавать новые системы пылеочистки и совершенствовать в соответствующем направлении, с целью более качественной сепарации материала.

При производстве на химических предприятиях полимерных материалов возникают проблемы с качеством товара продукта. Технологические примеси, такие как стружка, волокна и пыль, возникающие при производстве, снижают качество ПЭВД. При имеющихся методах производства и транспортировки гранулированных материалов, важно на конечной стадии получить гранулы свободные от технологических примесей. Существующие аппараты по очистке гранулированных материалов, которые используются на предприятиях, недостаточно эффективны. Качество удаления технологических примесей от гранулированного материала, так же как и очищение воздуха от волокнистых примесей, не достаточно высокое.

Именно поэтому необходимо совершенствовать данный процесс в соответствующих направлениях [2].

1 Существующие сведения о системах очистки полиэтилена высокого давления от технологических примесей

1.1 Характеристика технологии разделения полиэтилена от примесей

Технологическая примесь в виде стружки, волокон и пыли, возникающая при транспортировании гранулированного полиэтилена, ухудшают качество товарного продукта ПЭВД. Примесь отрицательно влияет на качество продукта и на воздух, который выбрасывается в атмосферу. Примесь возникает вследствие трения при перемещении гранул полиэтилена по поверхности трубопровода. При транспортировке гранулы ударяются о поверхность, образуя волокна и пыль. На выходе из транспортирующего узла, вначале чистый гранулированный материал загрязнен технологической примесью.

Для того чтобы уменьшить образование волокон при транспортировке полиэтилена используются шероховатые трубы с нарезкой на внутренней поверхности. Это приводит к резкому снижению образования волокон, но и приводит к увеличению пылеобразования [4].

Отделение пыли от гранул на конвейерных устройствах происходит вследствие конструктивного решения. Используются устройства в виде зигзагообразных аппаратов (аппараты «зигзаг»), в которых гранулы теряют скорость и выпадают из транспортирующего потока воздуха в бункер, а загрязненный воздух направляется на узлы пылеочистки. В конструкции зигзагообразного аппарата предусмотрено, что бы выполнялось следующее условие: скорость воздуха должна быть выше скорости витания пыли, и ниже витания гранул.

Отделение пыли от гранул происходит следующим образом:

- за счет многократного изменения направления движения смеси из-за встроенных внутри “зигзага” перегородок, а так же за счет снижения скорости движения;

- за счет сепараторного воздуха продувки, подаваемого в бункер для дегазации продукта и выходящего через сепаратор в систему очистки воздуха.

В циклонном аппарате, за счет сил тяжести и центробежной, гранулированный материал при входе прижимается к стенкам циклона, а смесь этилена с воздухом (продуктом, образующимся при пневмотранспортировании) и пылью, за счет избыточного давления, выходит через центральный патрубок в систему газоочистки [4].

Рассмотрим двухступенчатую схему очистки воздуха от пыли[7].

Загрязненный пылью воздух от сепараторов зигзаг вытягивается воздуходувочными устройствами и подается в циклоны. В них воздух отделяется от крупной фракции и вместе с пылью уносится из конуса циклонов в воронку.

Накопившаяся пыль из воронки выгружается в передвижной бункер. Частично очищенный воздух, содержащий мелкую пыль полиэтилена, нагнетается в нижнюю часть рукавного фильтра. Смесь воздуха с этиленом, проходя через фильтровальную ткань рукавов внутри каркасов, очищается, и из верхней части корпуса фильтра выбрасывается в атмосферу.

Скопившаяся в воронке пыль выгружается в передвижной контейнер. Далее частично очищенный воздух, в котором содержится мелкая пыль полиэтилена, нагнетается в нижнюю часть рукавного фильтра. Конструкция рукавного фильтра сделана таким образом, что газовая смесь, состоящая из воздуха и этилена, проходит через фильтрованную ткань рукава, в ней очищается от пыли и выбрасывается через верхний патрубок аппарата в окружающую среду.

В фильтре пыль задерживается и осаждается на поверхности рукава. Для того чтобы не происходило забивание в процессе работы системы очистки, предусмотрено включение продувочного воздуха. Импульс продувочного воздуха вызывает колебания, и вследствие вибрации, пыль

ссыхивается с фильтрованной ткани. Пыль собирается в конусе фильтра и шнеком выпадает в передвижной бункер [8].

Из воронок пыль также подается в передвижные контейнеры, которые затем увозятся на склад, где пыль с гранулами полиэтилена рабочий персонал расфасовывает в мешки, взвешивает их и отгружают потребителю.

Возникают случаи, когда производительность вентилятора по отсасываемому воздуху может быть выше, чем суммарное количество пневмотранспортного и продувочного воздуха, В этом случае при повышении разряжения, предусмотрено открывание клапана, и тогда дополнительный воздух подсасывается из атмосферы, понижая разряжение на входе вентилятора.

Весь процесс классификации гранулированного материала должен проходить непрерывно. Все компоненты технологического процесса должны работать без остановок. В случае ,если процесс нарушится, эффективность отделения пыли уменьшится

1.2 Характерность процессов, которые определяют методы очистки полиэтилена и воздуха от пыли и стружки

При использовании аппаратов, удаляющих пыль, стоит обратить внимание на свойство материала приобретать электрический заряд.

Гранулированный полиэтилен в процессе транспортирования, перемешивания может приобрести электрический заряд, который адсорбирует на поверхности пыль. Силы прилипания мелких частиц так же зависят от самих размеров, влажности воздуха и степени электризации. Силы прилипания растут с увеличением времени контакта и достигают максимального значения за время более 1 минуты. Эти силы зависят от площади контакта, которая в свою очередь зависит от размера и формы частиц.

Эффект отрыва частиц воздушным потоком с поверхности гранул зависит от скорости обтекания гранул, размера и формы частиц. При обтекании слоя прилипших частиц может происходить удаление верхних частиц, а при значительных инерционных силах, действующих на гранулы, и отрыв слоя [4].

Трудности, которые возникают при очистке гранулированного полиэтилена, исходят из конструкционных особенностей. Обязательные условия удаления примеси должны быть следующими: движение гранул в аппарате с малой концентрацией, придание гранулам значительных ускорений для отрыва частиц с последующим их удалением потоком обтекающего воздуха. Именно поэтому аппараты, предназначенные для очистки гранул, должны иметь достаточно большие размеры для рассредоточения гранул в объеме, должны иметь элементы для придания гранулам значительных ускорений воздухом (повороты, расширения, грохоты, ударные приспособления) [9].

При гидравлическом способе очистки многих материалов могут применяться гидроциклоны. Применительно к очищению полиэтилена от технологических примесей, гидравлический способ очищения требует серьезного анализа на пригодность применительно к существующей технологии производства полиэтилена.

Эффективность выделения частиц из воздушного потока, зависит от размеров, формы, плотности частиц. При малых скоростях движения относительно несущей среды, частицы могут ориентироваться хаотичным порядком по отношению к направлению своего движения. При достижении критической величины режима обтекания, когда начинается турбулизация обтекающего частицу потока, характер движения меняется. Вытянутые частицы стремятся принять такое положение, при котором сопротивление среды было бы максимальным для пластинок, чешуек, и т.п. это будет то положение, в котором их более развитые грани и более длинные ребра расположены перпендикулярно направлению движения.

В центробежных циклонах, поведение частиц носит случайный характер, т.к. из-за больших градиентов несущего потока турбулентности, частицы деформируются, сворачиваются в жгуты, и, взаимодействуя между собой, образуют скопления, приводящие к забивке разгрузочных устройств. В таком случае весь процесс останавливается. Поэтому для увеличения эффективности и надежности работы газоочистных аппаратов, применяют устройства, которые последовательно отделяют лентообразные, волокнистые пыли и оставшуюся примесь, обладающую лучшей сыпучестью [9, 10].

1.3 Общие сведения о существующих системах инерционной очистки воздуха и гранулированных материалов от волокнистых примесей

Комплексов аппаратов и систем по очистке зерновых и гранулированных материалов существует достаточное множество. Они отличаются большим конструктивным разнообразием. Особенно хорошо они описаны в учебном пособии [30], в котором собрано, проанализировано и сопоставлено более 200 научных источников. В нем достаточно хорошо рассматриваются вопросы пылеотделения в различных аппаратах, таких как:

- аппараты с криволинейным потоком и с преимущественно радиальным переносом закрученного потока к выводному каналу;
- аппараты с преимущественно прямоточным движением закрученного потока;
- аппараты с преимущественно возвратным переносом закрученного потока.

В противоточных циклонах области вывода очищенного газа и пыли разделены по высоте аппарата, поэтому с высокоэффективными противоточными циклонами не может сравниться ни один другой аппарат, в котором эти области разделены в радиальном направлении. Причем в одиночном противоточном аппарате с собственным приемником пыли

процесс затухания жгутов пыли, и окончательное формирование слоя частиц осуществляется естественным образом. Именно поэтому, предпочтение при выборе аппарата, необходимо отдавать последнему варианту. В аппаратах - пылеуловителях прямоточного типа, в вихревых пылеуловителях со встречными аксиальными закрученными потоками процесс формирования слоя не организован, поскольку через приемник проходит входной канал газоочистителя. Этот канал является источником возмущений, препятствующих ламинаризации потока при образовании слоя. Поэтому утверждения, которые встречаются в публикациях, что эти пылеуловители эффективнее противоточного циклона, вызывают сомнения [30].

2 Применение пневматических классификаторов для фракционирования гранулированного материала

Анализируя литературные источники по способам очистки гранулированного материала, было найдено достаточное количество интересной литературы по данной тематике. В данной главе хочется отойти от инерционного способа очистки материала, и рассмотреть совсем другой принцип обеспыливания – пневмокласификацию. Гравитационная классификация позволяет разделять смеси с более крупными частицами материала. Часто такие системы очистки применяются в химической, зерноперерабатывающей и других отраслях промышленности [11].

В главе будут рассмотрены теоретические основы данного способа отделения материала, от примесей, основные конструктивные параметры моделей аппаратов с восходящим потоком и обобщение основных результатов по процессу классификации.

2.1 Теоретические основы процесса классификации и выбор модели классификатора

2.1.1 Основные конструктивные параметры модели

Основным фактором, влияющим на перенос твердых частиц в условиях пневматической классификации, является конструктивная особенность процесса. Важным фактором является конструкция будущего аппарата. Контактные элементы, линии подвода транспортирующей среды, угол и ввод в поток исходную смесь, все это влияет на эффективность агрегата [11].

Далее проанализируем параметры, к которым можно определить геометрию сепарационной камеры аппарата. К ним относятся: форма, размер поперечного сечения и соотношение сторон. В литературе по поводу вопроса влияния формы камеры имеются различные мнения. Одни ученые [12,13,14] считают, что наибольший эффект разделения происходит в аппаратах прямоугольной формы, другие напротив, отдают свое предпочтение цилиндрической форме. Так, Демский А.Б. [13], проведя экспериментальные исследования, приходит к выводам, что наилучший эффект разделения частиц происходит в вертикальном прямоугольном канале постоянного сечения. В тоже время Барский М.Д.[15] анализируя результаты разделения полидисперсного материала, отметил, что в аппаратах круглого сечения, качество сепарирования материала проходит с лучшими показателями, качество разделения выше. Эффективность разделения может объясняться по нескольким факторам: первое – завихрения в круглых каналах отсутствуют, второе – отсутствие второстепенных движений воздуха. Тем не менее, сложность проектирования, конструирования узлов подачи и сложности с формированием равномерных потоков воздуха, отклоняют применения аппаратов с цилиндрическими параметрами. В случае с изготовкой аппарата прямоугольной формы, таких проблем не возникает.

В следующей работе [14] доказано, что качество разделения материалов от примесей в аппаратах с круглым сечением ниже, чем в аппаратах с прямоугольными и квадратными сечениями. Так как прямоугольные конструкции легче в изготовке, то именно поэтому во многих

областях промышленности и сельского хозяйства используются пневмокласификаторы прямоугольного сечения [15, 12-14, 16].

Считается, что основным параметром, который определяет качество разделения материала, является соотношение между сторонами поперечного сечения аппарата [17]. Исследователи проводили моделирование процесса разделения в аппаратах, имеющих различные поперечные сечения. В дальнейшем моделирование осуществлялось с одинаковой площадью, но с разными соотношениями сторон. Впоследствии, анализ результатов экспериментов показал, что с увеличением масштаба аппарата, качество разделения уменьшается. Исходя из этого, можно сформулировать вывод, что интенсивное взаимодействие исходного материала со стенками комплекса достигается в узком пространстве, ограждающем поток смеси. Происходит тормозящий эффект для частиц, имеющих более крупных характеристики, который приводит к увеличению эффективности процесса разделения гранулированного материала. Основываясь на полученные данные, исследователи рекомендуют для больших мощностей использовать последовательно совмещенные аппараты в виде батарей [11].

Следующий вывод, полученный в результате сравнительных испытаний классификаторов, которые имеют одинаковую площадь сечения и различные соотношения сторон, подчеркивает, что соотношение сторон в поперечном сечении незначительно влияет на результаты разделения. В случае с плоскими аппаратами - эффективность процесса несколько выше [11].

Влияние высоты аппарата на механизм гравитационной классификации, исследовался многими учеными [12, 13, 15, 17, 18]. Считают [18,19], что высокая эффективность разделения материала достигается за счет высоты классификаторов, так как по мере удаления от места ввода исходного материала и воздуха, частицы достигают установившихся скоростей своего движения. Другие научные работники [17, 20, 21], анализируя экспериментальные данные, приходят к выводу, что

эффективность процесса классификации достигается и в аппаратах небольшой высоты. На основании полученных результатов, утверждается, что процесс разделения начинается с места ввода материала в поток и завершается на небольшой высоте пневмокласификатора. Дальнейшее увеличение высоты незначительно, а то и совсем не влияет на результат разделения [17].

Основываясь на изучение экспериментальных данных можно сделать вывод, что в основе процесса гравитационной разделения лежит статистическое расслаивание смеси частиц по установившимся скоростям их движения. Ученые считают, что для улучшения эффективности сепарации, правильно будет не увеличивать высоту пневмокласификатора, а предусматривать такие конструктивные решения, которые позволили бы усилить эффект расслаивания [11].

Демский А.Б. [13] выделяет пневмокласификаторы на две части - ниже и выше места ввода исходного материала и анализирует влияние их высоты на качество сепарирования гранулированной смеси. Им описано, что эффективность разделения гранулированного материала, в большей степени, зависит от высоты верхней части аппарата. Эффективность процесса, в случае увеличения уровня нижней части так же приводит к улучшению показателя результативности, так как достигается равномерный профиль скоростей потока.

Для нахождения оптимальной компоновки аппарата ученые изучали воздействие подвода воздуха в аппарате на структуру движения потока и эффективность классификации материала [12,13]. Ученые исследовали четыре разные схемы подвода воздуха: со стороны входа гранулированного материала, с противоположной стороны, двусторонний и через нижнюю часть канала, служащую одновременно и для вывода очищенного зерна. Результаты экспериментов показывают, что худшая эффективность наблюдалась при одностороннем подводе воздуха со стороны

противоположной входу зерна, а наилучшая эффективность классификации – при нижнем подводе.

Провести анализ влияние угла ввода частиц материала в зону разделения, используя различные источники литературы, не является возможным, так как данных практически нет. Тогда как именно от этого параметра зависит не только энергоемкость всего процесса, но и соответствие получаемого результата поставленной задаче. Известны работы [12,13], в которых авторы анализируют траектории перемещения частиц в зависимости от угла ввода их в поток. При углах ввода $\alpha = 40^\circ$ частицы перемещаются сплошной струей, а при $\alpha=0^\circ$ гранулированный материал разуплотняется, причем нижние слои имеют меньшую скорость, чем верхние. Во втором случае условия перемещения частиц в потоке становится ближе к условиям независимого перемещения одиночных частиц. На этих данных весь анализ авторов заканчивается. Не было приведено информации по поводу влияния рассматриваемого параметра на результат разделения частиц.

Влияние узла подачи исходной смеси на изучаемый процесс описано в источниках [17, 21, 22]. Авторы, в зависимости от расположения узла подачи исходной смеси, различают нижний ввод смеси (под полочную часть аппарата), средний ввод смеси и верхний ввод (на верхний контактный элемент). Считается [1], что при вводе материала в верхнюю, среднюю или нижнюю часть аппарата для гравитационной сепарации, его можно разделять, соответственно, по принципу противотока, прямотока или их комбинации. Результаты экспериментов подтвердили целесообразность противоточного разделения [22]. Исходя из результатов исследования [23], ученый провел эксперименты для изучения влияния возможных мест ввода материала в аппарат при исследовании изменения высоты, скорости и состава гранулированного материала сепарируемой смеси. Канусик Ю.П. делает вывод, наиболее лучшую разделительную способность имеет пневмокласификатор со средним (симметричным) вводом. Аппараты, при

подаче материала в нижнюю и верхнюю части аппарата, имеют низкую разделительной способностью.

Кравчик В.Е. [24] изучил процесс классификации материала от места ввода в пневмокласификатор с перфорированными пластинчатыми контактными элементами. Им изучена зависимость структуры двухфазного потока и эффективности процесса от указанного параметра при изменении расстояния между контактными элементами и фракционного состава разделяемой смеси. Так же выявлено, что относительное содержание фракций в разных участках по высоте аппарата зависит от расположения узла подачи смеси гранул. Установлено, что содержание мелкого компонента в нижней части пневмокласификатора наименьшее при верхнем и среднем вводе материала. При нижнем вводе материала, концентрация мелких фракций увеличивается в среднем в восемь раз. Обнаружено, что наиболее лучшее разделение у аппаратов с верхним вводом смеси. При увеличении числа полок, повышается качество разделения материала. При среднем вводе материала унос мелкого компонента, с увеличением количество полок в верхней части пневмокласификатора уменьшается. Причем отмечается, что в провале содержание мелких частиц с увеличением числа полок резко уменьшается, тогда как при среднем вводе, оно растет.

2.2 Современные конструкции классификаторов для сыпучих материалов

Для того, чтобы увеличить интенсивность контакта фаз, можно установить от одной до несколько сплошных или перфорированных полок. Данные конструкторские решения позволят создать местное увеличение скорости и турбулентности потока смеси. Перегрузка материала на низкий уровень, за счет полок, позволит замедлить скорость движения гранул. Обычно полки располагают каскадом на противоположных сторонах

аппарата. В большинстве конструкций полки устанавливают с одной стороны наклонного корпуса, а в других – с обеих сторон, друг против друга.

Чтобы исключить в местах разгрузки материала выделения пыли или других примесей, необходимо, чтобы снизу вверх просасывался некоторый объем воздуха. Воздух будет уносить мелкие частицы за собой. А для того, чтобы уменьшить нежелательный унос вместе с мелкими частицами – крупные, пневмокласификаторы обычно выполняются в виде диффузоров. В них для равномерного распределения скоростей потока по сечению устанавливают выпрямляющие участки из системы цилиндров, обтекаемые клиновидными элементами. Из верхней (сепарационной) части отбирается некоторое количество взвешенного материала с помощью воронок или специальных отборников. При этом снижается размер частиц, которые уносятся из пневмокласификатора в пылеуловители. Отбор некоторой части взвешенного материала осуществляют также с помощью полок, направленных незакрепленным концом вверх. Выпавший при повороте потока материал скатывается по такой полке к стенке корпуса аппарата и уходит из него по наклонному патрубку на дополнительную продувку.

Пневматический классификатор [25] представленный на рисунке 1 предназначен для разделения сыпучих материалов в восходящем потоке воздуха по крупности и может быть использовано в различных областях производств.

Гравитационный классификатор состоит из вертикальной шахты прямоугольного сечения 1. Внутри шахты размещены наборы 2 перфорированных двухскатных 3 и плоских 4 полок, при этой двухскатная полка сдвинута на половину ширины шахты в горизонтальной плоскости относительно плоской полки, а каждый набор 2 повернут на 180° вокруг оси аппарата. Ширина полок 3 и 4 равна между собой и составляет половину ширины шахты. Над шахтой установлен сепаратор 5, который препятствует случайному выносу крупных частиц из классификатора. Патрубок 6 служит

для подачи исходного материала, патрубок 7 – для ввода воздуха, патрубок 8 – для вывода мелкой фракции, а патрубок 9 для выхода крупной фракции.

Пневматический классификатор работает следующим образом: гранулированный материал непрерывно подается через патрубок 6 в рабочую зону и движется вниз по полкам 3 и 4, рис.1

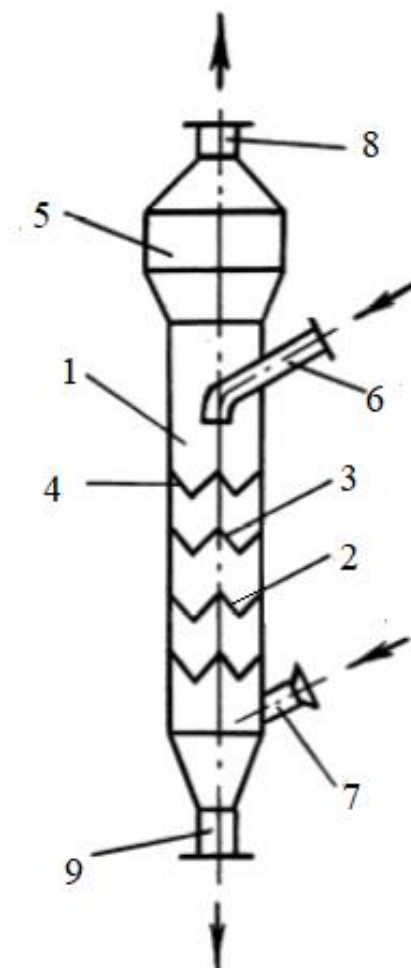


Рисунок 1 – пневматический классификатор

Вследствие сдвинутой в горизонтальной плоскости двухскатной полки, проходное сечение аппарата, а следовательно, поверхность контакта фаз увеличены по сравнению с известным устройством.

Навстречу материалу через патрубок 7 движется воздух, огибающий полки 3 и 4, и, проходящий через перфорированные наклонные участки, пронизывает движущийся слой материала в нескольких направлениях. Благодаря повороту каждого набора 2 на 180° вокруг своей оси, тем самым

равномерно распределяя частицы материала по высоте шахты, в результате чего значительно увеличивается поверхность контакта фаз. Кроме того, благодаря повороту каждого набора полок на 180° вокруг своей оси воздух делится ими на три потока, которые уменьшают отрицательное влияние пристеночного эффекта на качество разделения материала.

Легкая фракция удаляется через патрубок 8, а тяжелая – через патрубок 9.

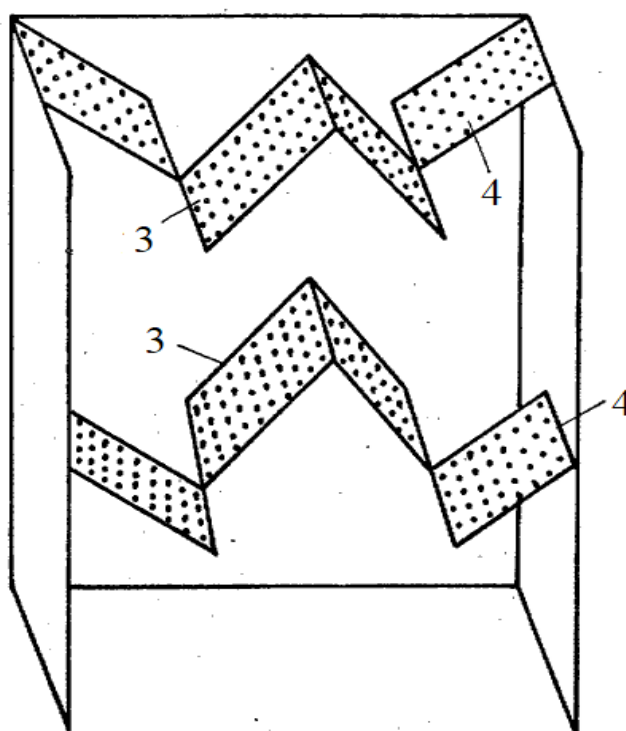


Рисунок 2 – перфорированные полки

Основное отличие данного аппарата от других – что, с целью повышения эффективности классификации за счет оптимизации технологического режима разделения, плоские и двухскатные перфорированные полки рисунке 2 каждого набора установлены на одном уровне, ширина плоских полок равна ширине двухскатной перфорированной полки и составляет половину ширины шахты, при этом плоские и двухскатная перфорированные полки смещены одна относительно другой в

плане на половину ширины шахты, причем плоские и двухскатная перфорированные полки каждого последующего набора повернуты вокруг оси корпуса относительно предыдущего набора на угол 180.

Недостатком данного классификатора является невысокая эффективность разделения смеси материала. Из-за того, что не установлены пересыпные полки, возникает отрицательное влияние пристеночного эффекта.

Пневмокласификатор [26] (рис. 3) изготовлен для обработки различных видов зернистых материалов в сельском хозяйстве. Так же можно найти применение и в других областях, таких как химическое, металлургическое, строительное и прочие. Устройство значительно позволяет увеличивать качество классификации.

Пневмокласификатор содержит корпус, который состоит из нижней секции 1 прямоугольного сечения и верхней секции 2, патрубки ввода 3 и вывода 4 материала, патрубки подвода газа 5 и отвода аэросмеси 6.

В секции 1 расположены пересыпные полки 7. В секции 2 расположена газораспределительная решетка 8 из вертикально 20 установленных выравнивающих элементов 9, которые состоят из участков 10 постоянного поперечного сечения, участков 11 клиновидного поперечного сечения с перфорацией в виде горизонтальных щелевидных прорезей 12, пластин 13 и имеют открытую снизу внутреннюю полость 14.

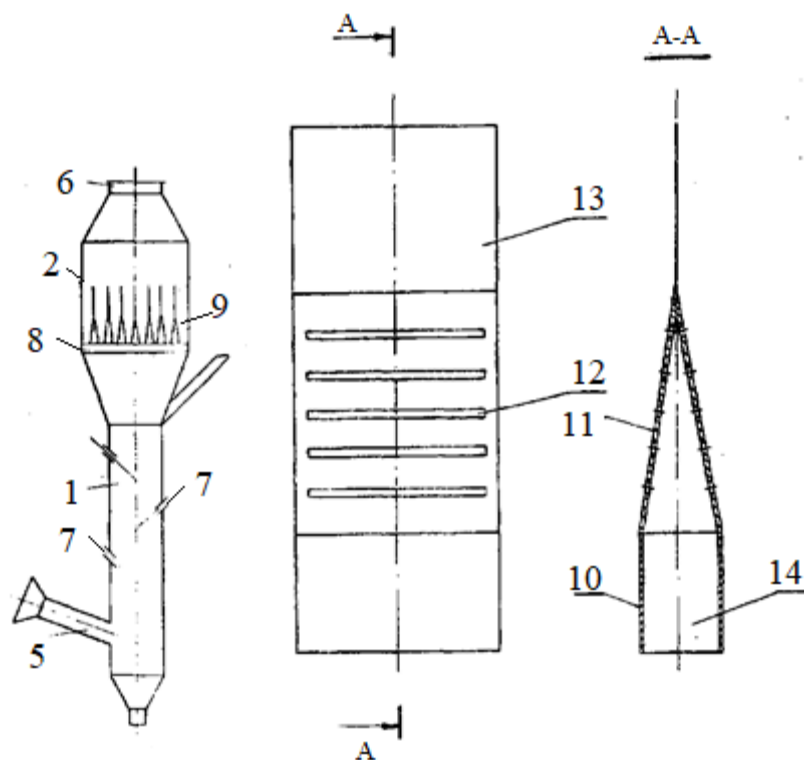


Рисунок 3 – пневматический классификатор

Слева направо изображены три фигуры. Первая - классификатор, вторая фигура - выравнивающий элемент, третья - фронтальный разрез второй фигуры.

Цель изобретения – повышение качества продуктов разделения путем увеличения эффективности процесса классификации на 3-5% за счет снижения скорости потока в пространствах между выравнивающими элементами и дополнительного провеивания аэросмесей струями газа, выходящими из перфорации, расположенной на клиновидных участках элементов.

Поставленная цель достигается тем, что в пневматическом классификаторе, включающем корпус, состоящий из нижней секции прямоугольного сечения с перфорированными пересыпными полками и верхней секции с вертикально установленными выравнивающими элементами, выполненными из расположенных снизу вверх плавно сопряженных между собой участков постоянного поперечного сечения и

клиновидного поперечного сечения и пластины, патрубок ввода материала, установленный между перфорированными полками и выравнивающими элементами, патрубки вывода крупного материала и подвода газа, расположенные в нижней части корпуса, и патрубок отвода аэросмеси, установленный в верхней части корпуса, выравнивающие элементы выполнены полыми и открытыми снизу, при этом клиновидные участки выравнивающих элементов выполнены перфорированными, перфорация может иметь 5 форму горизонтально или вертикально расположенных щелевидных прорезей, а также круглых отверстий.

Формула изобретения:

1. Пневматический классификатор, включающий корпус, состоящий из нижней секции прямоугольного сечения с перфорированными пересыпными полками и верхней секции с вертикально установленными выравнивающими элементами, выполненными из расположенных снизу вверх плавно сопряженных между собой участков постоянного поперечного сечения и клиновидного поперечного сечения и пластины, патрубок ввода материала, установленный между перфорированными полками и выравнивающими элементами, патрубки вывода крупного материала и подвода газа, расположенные в нижней части корпуса, и патрубок отвода аэросмеси, установленный в верхней части корпуса, отличается тем, что, с целью повышения качества классификации, выравнивающие элементы выполнены полыми и открытыми снизу, при этом клиновидные участки выравнивающих элементов выполнены перфорированными.

2. Классификатор отличается тем, что перфорация выполнена в виде горизонтально расположенных щелевидных прорезей.

Данный пневмокласификатор имеют эффективность немного выше, чем предыдущий пневматический классификатор, но значительно уступает следующему аппарату.

Пневмокласификатор [27] представленный на рисунке 4 предназначен для классификации сыпучих материалов на необходимое число фракций.

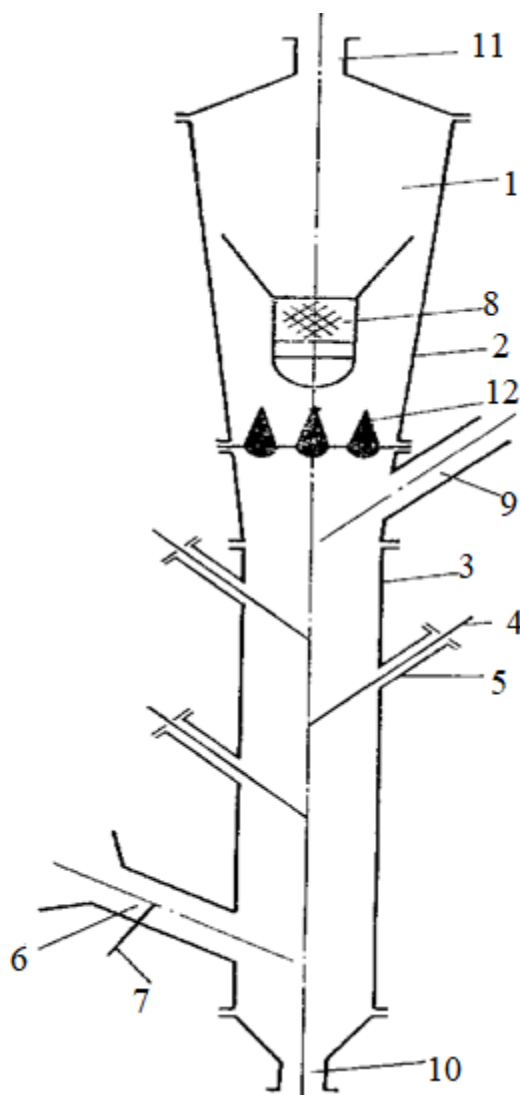


Рисунок 4 – пневмокласификатор

Корпус 1 состоит из верхней 2 и нижней 3 секций. Наклонные полки 4, которые размещены в нижней секции, разработаны с перфорацией в виде продольных прорезей. Сконструированы полки так, чтобы их легко можно было перемещать в опорах 5, с целью перекрытия сечения секций. Шибром 7 можно регулировать подачу воздуха в коллекторе 6. Верхняя секция пневмокласификатора сконструирована с прямоугольным сечением, при этом две ее стенки параллельны. А две другие — образуют расширение кверху. Внутри установлен разгрузочный элемент 8 для вывода материала

определенного гранулометрического состава. Подача материала осуществляется через патрубок 9, а отвод 5 крупнозернистых частиц и. Пыли, соответственно через патрубки 10 и 11. Для равномерного распределения двухфазного потока по сечению аппарата устанавливается клиновидная решетка 12.

Принцип действия пневматического классификатора следующий: материал подается в классификатор через патрубок 9 в нижнюю квадратную секцию 3 и движется вниз по наклонным полкам 4. Навстречу потоку сыпучего материала через коллектор 6 поступает воздух. В нижней секции происходит первичное разделение исходного материала на фракции в зависимости от аэродинамических характеристик частиц за счет того, что воздух, проходя через прорезы наклонных полок 4, пронизывает движущийся слой сыпучего материала.

Перемещение полок в опорах 5 позволяет регулировать скорость воздушного потока в нижней секции. Крупнозернистая фракция удаляется из аппарата через патрубок 10. Частицы средней крупности транспортируются воздушным потоком в верхнюю секцию 2, где, проходя через клиновидную решетку 12, и улавливаются разгрузочным элементом 8 и выводятся из аппарата. Пылевидные материалы удаляются из аппарата через патрубок 11 и поступают на пылеочистку.

Пневматический классификатор конструктивно прост и удобен в обслуживании, обладает малым гидравлическим сопротивлением и большой эффективностью при разделении сыпучего материала.

Формула изобретения

1. Пневматический классификатор, включающий корпус, состоящий из верхней и нижней секции, наклонные пересыпные полки, патрубки для подвода и отвода материала и воздуха, отличающийся тем, что, с целью повышения эффективности классификации исходного материала и улучшения качества продуктов разделения, наклонные полки установлены с возможностью поступательного перемещения в опорах.

Пневмокласификатор [28], представленный в рисунке 5, предназначен для пневматической классификации полидисперсных сыпучих материалов.



34

возникновение вихревого потока под каждой полкой повышает гидравлическое сопротивление и переизмельчает материал.

Классификатор снабжен установленными в верхней части корпуса попарно и шарнирно закрепленными по оси классификатора отражательными полками и установленными в нижней части корпуса перфорированными полками, расположенными в шахматном порядке, при этом нижняя часть корпуса выполнена с одинаковым сечением по высоте.

Классификатор включает корпус 1, который состоит из верхней 2 и нижней 3 конических частей. В верхней конической части 2 расположены сплошные отражательные полки 4, шарнирное закрепление которых даст возможность изменять угол между расположенными полками. Кроме того имеются приемные полки 5, которые играют роль отборников отдельных фракций. Нижняя часть 3 представляет собой вертикальный канал с патрубками 6 и 7 для ввода материала и подачи воздуха соответственно. На стенках секции с противоположных сторон под углом в шахматном порядке закреплены перфорированные полки 8.

Верхняя часть соединена с циклоном 10, а нижняя со специальным бункером, в который выпадают наиболее крупные частицы.

Принцип действия пневматического классификатора следующий: сыпучий материал подается через патрубок 6 на наклонную перфорированную полку 8. Благодаря наклонной полки, материал тормозится, и псевдоожижается воздухом, впрыскиваемым через патрубок 7. Мелкий материал, подхваченный воздухом, устремляется вверх, в коническую часть 2 корпуса, а крупный, за счет своего веса, выпадает в бункер крупных частиц. Мелкие частицы материала поочередно огибают отражательные полки 4 и вследствие резкого уменьшения скорости потока, а также возникновения при повороте центробежной силы на каждую пару приемных полок 5 из потока выпадают наиболее крупные частицы материала, причем по высоте нижней части концентрация частиц и их размер различны, и на верхние приемные полки осаждаются частицы с

минимальными размерами. Таким образом, на каждую пару приемных полок выпадает определенная монофракция материала. В циклон уносится практически наибольшее количество мельчайших частиц, в связи с чем, более тонкая очистка воздуха не требуется.

Установка отражательных полок уменьшает высоту аппарата и улучшает качество разделения за счет создания центробежных сил при повороте потока. Шарнирное закрепление отражательных полок позволяет изменять угол между ними, что дает возможность варьировать в широких пределах скорость движения потока, а также управлять направлением движения – потока полидисперсного материала, в результате чего повышается производительность аппарата и качество классификации продукта, позволяющее получить несколько монофракций.

Установка в нижней части корпуса перфорированных полок дает возможность затормозить поток, подаваемого через патрубок материала (с тем, чтобы исключить проскок в провал вместе с наиболее крупными частицами и частиц малой и средней крупности и придать ему направленное движение вверх).

Применение предлагаемого классификатора повышает качество классификации на 15 – 20%.

Формула изобретения:

Классификатор, включающий корпус, внутри которого расположены приемные полки, загрузочный патрубок, расположенный в нижней части пневмокласификатора, патрубок для подвода воздуха и разгрузочные патрубки, отличается тем, что снабжен установленными в верхней части корпуса попарно и шарнирно закрепленными по оси классификатора отражательными полками и установленными в нижней части корпуса перфорированными полками, расположенными в шахматном порядке. При этом нижняя часть корпуса выполнена с одинаковым сечением по высоте. Все это сделано с целью повышения качества классификации.

Рассмотрим научное исследование, в которой создан гравитационный аппарат пневматической очистки [29]. При разработке аппарата подчеркивал важность проведения теоретических и экспериментальных исследований гидродинамики движения двухфазного потока и кинетики разделения зернистых материалов.

2.3 Описание экспериментальной установки, принципа работы пневматического классификатора и оценка исследования

Автор разработал несколько 3D моделей пневматического классификатора, пользуясь различными программами, такие как «FlowVision 2.3, SolidWorks 2012 и ANSYS 14» [29]. В ходе моделирования собирались основные параметры, такие как скорость воздуха, скорость твердых частиц и гидравлическое сопротивление. Затем автор, путем сравнения и анализа, выбрал оптимальную конструкцию среди всех разработанных 3D моделей (рис. 6), которая обеспечивала формирование потока, в котором возникают стабильные вихри.

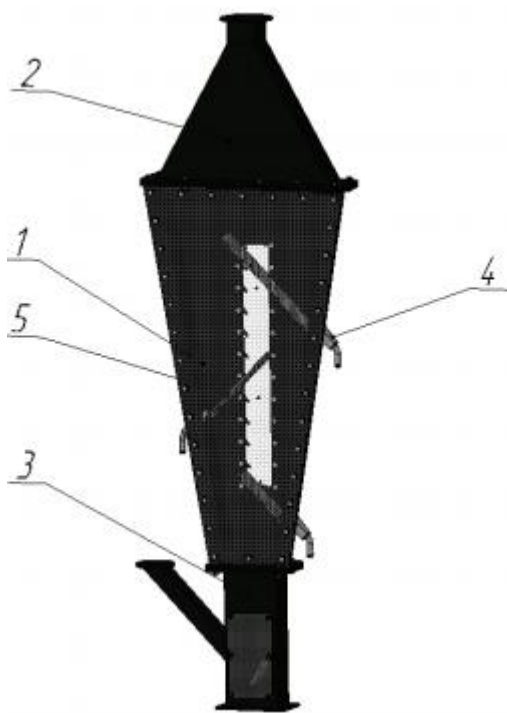


Рисунок 6 – пневмокласификатор

Предложенный классификатор имеет полочную конструкцию с коробчатой проточной частью, расширяющейся кверху, в которой разделительный воздушный поток создается с помощью газодувки путем просасывания воздуха через аппарат

Принцип работы предложенного классификатора остается прежним. Материал подается через камеру нижней подачи 3. Мелкодисперсная фракция подхватывается потоком воздуха, обтекающего наклонные перфорированные полки 5, осаждаясь на их поверхности, отводится из аппарата через боковые отводы 4. Регулируемые полки устанавливаются под углом. Крупнодисперсная фракция не увлекается потоком воздуха, поэтому падает в нижнюю часть и через разделительное устройство выводится из аппарата.

Результатом моделирования являются эпюры давления и профили скоростей, позволившие сделать вывод о возможности интенсивного воздействия газового потока на полидисперсный материал на срезах кромок полок в центральной части и организации нисходящего потока крупной фракции вдоль стенок. Был определен характер распределения скорости движения потока воздуха, в сечении проточной части аппарата.

Для проверки результатов моделирования, рассчитанных размеров, конструкции проточной части пневмокласификатора и достаточного качества разделения сыпучих материалов согласно требованиям технологического регламента была создана лабораторная установка пневмокласификации (рис. 7).

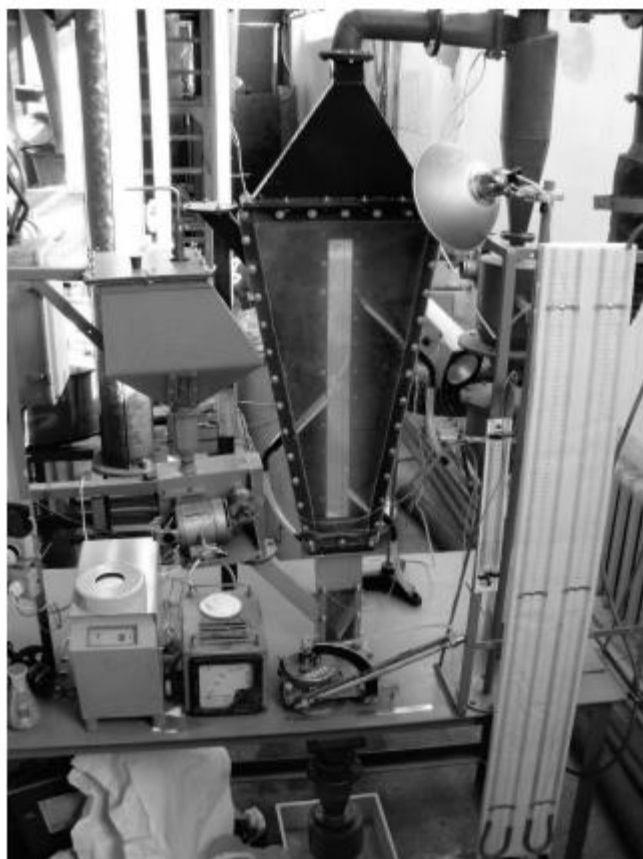


Рисунок 7- Общий вид лабораторной установки пневмоклассификации

На установке, представленной на рис. 7, была проведена серия опытов.

Полученные данные подтверждают достаточно эффективную чистоту разделения исходного материала на крупную и мелкую фракции. Эффективность разделения материала около 95% [29].

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований автор сделал следующие выводы:

- выбрана оптимальная форма проточной части классификатора с целью формирования потока, в котором будут образовываться стабильные крупномасштабные вихри;
- установкой перфорированных полок сформирован требуемый профиль скоростей по сечению аппарата для лучшей эффективности разделения;
- выбор правильного угла раскрытия конуса аппарата и высоты зоны сепарации влияет на качество получаемого продукта;

- оптимальные скоростные режимы регулировки потока позволяют не допустить уноса товарной фракции;
- проведенные эксперименты показывают возможность проведения классификации полидисперсного материала на две и более фракции в одном корпусе аппарата, а также показывают высокую чёткость разделения материала и снижение количества мелкой фракции, уносящейся из аппарата, и крупной фракции, которая попадает в провал.

Автор данного исследования считает результаты удовлетворительными. Экспериментально исследование доказывает перспективность применения гравитационной классификации, организованной в единичном рабочем объеме пневмокласификатора.

К сожалению, автор не располагает дальнейшими результатами, в связи с чем, можно предположить вывод, что данный результат в 95 % разделении материала является максимальным.

2.4 Выводы по разделу пневматической классификации

Были разобраны теоретические основы гравитационной пневмокласификации, так же были рассмотрены основные типы аппаратов и приведена установка, которая позволяет очищать смесь до 95 %. Гравитационная классификация позволяет разделять смеси с частицами от 0,1 до 5 мм, наиболее часто встречающихся в технологии производства зерноперерабатывающей, химической и других отраслях промышленности. Приведенные исследования [29] доказывают перспективность применения многопродуктовой классификации, организованной в единичном рабочем объеме пневмокласификатора.

Так же в работе [11], разработана методика расчета основных технологических и конструктивных параметров новых каскадных

пневмокласификаторов. Данная методика позволяет рассчитать и спроектировать ряд пневмокласификаторов защищенных авторскими свидетельствами и патентами Российской Федерации, которые внедрены в различные отрасли промышленности и сельского хозяйства.

Данный раздел показывает, что создание и совершенствование систем очистки материалов от инородных или технических примесей является важной задачей. Разные институты и инженеры работают над данной задачей, совершенствуют конструкции и улучшают качество и эффективность процесса очистки материалов

В нашем случае классификации подлежит ПЭВД инерционным аппаратом комплексной очистки. Поставлена задача составить методологию провести исследования с выявлением и совершенствованием оптимальной компоновки аппарата, при которой эффективность разделения ПЭВД от примесей будет максимальная.

3 Исследование характеристик потока с дисперсной фазой и оценка эксплуатационных показателей экспериментальной установки

3.1 Разработка методов и средств очистки воздуха и гранулированного материала от волокнистых примесей

Разделение гранулированного материала от технологических примесей, в аппарате типа «зигзаг», несет за собой некоторые негативные моменты, такие как захват гранулированного материала с технологической пылью, и забивание выходных патрубков стружкой в виде жгутов. В первом случае захват гранул происходит при достаточно высоком разрежении, при котором потери составляют свыше 50 % от всего объема материала. С целью устранения этого явления, были внесены конструкционные доработки: на линии всасывания вентилятора изготовлены заслонки, которые при определенном уровне разрежения, начинают открываться, вследствие чего засасывается внутрь воздух. Тем не менее, данное конструкционное решение

не предотвращает в полной мере унос некоторого количества гранул в систему пылеочистки. Во втором моменте из-за забивания патрубков стружкой в виде жгутов, вся системы очистки ПЭВД перестает быть эффективной, систему останавливают, и рабочий персонал вынужден очищать сепаратор в ручную.

Также рабочие должны постоянно контролировать состояние циклона, так как несущая способность циклона с течением времени снижается, вследствие чего, циклон забивается, а процесс сепарации останавливается. Данный фактор несет еще один негативный момент в использовании циклона и рукавного фильтра.

При аварийном отключении установки, загрязненный пылью воздух, выбрасывается наружу в атмосферу. Аварийная остановка аппарата предусматривается при следующих моментах:

- выключение электричества;
- пожар;
- отключение вентилятора;
- пыление через неплотности оборудования, вследствие хлопка в фильтре;
- перегрузка технологической пыли в циклоне;
- потеря фильтрующей способности рукава.
- увеличение гидравлического сопротивления пылеулавливающего оборудования

В результате проделанной работы, были проанализированы литературные источники и патентные документации по классификации гранулированного материала. Были разобраны гравитационные пневмокласификаторы, которые так же хорошо очищают материал, и вследствие чего было предложено устройство под названием установка комплексной очистки, которая не только позволит эффективно разделять

гранулы полиэтилена от примесей, но и составит сильную конкуренцию на рынке очистных аппаратов.

Данная установка, изображенная на рисунке 8, состоит из трех ступеней очистки:

- центробежный сепаратор;
- вихревая камера;
- фильтр.

1. В центробежном сепараторе гранулы полиэтилены высокого давления очищаются за счет транспортирующего потока. Технологическая примесь прижимается к стенке за счет центробежной силы и устремляется по направляющей к заслонке в центр вихря и выносится дальше с потоками, а гранулы полиэтилена выпадают из общего потока в щель, расположенной в нижней части сепаратора. Ниже канала там, где вводится поток продувочного воздуха, имеется отражатель вынужденного вихря, на котором формируются радиальные токи. В результате чего происходит доочистка гранулированного материала.

2. В вихревой камере частицы пыли концентрируются у стенки центробежными силами и выводятся через пылевыводящий патрубок. Благодаря присутствию некоторого количества гранул, пыль не успевает налипать на стенки. Забивки и зависания технологической примеси в концентрате не отмечается, так как несущая транспортирующая способность максимальна во все области сечения.

3. Фильтр необходим для того, чтобы примесь, которая не задержалась в сепараторе и вихревой камере, остановилась в последней ступени.

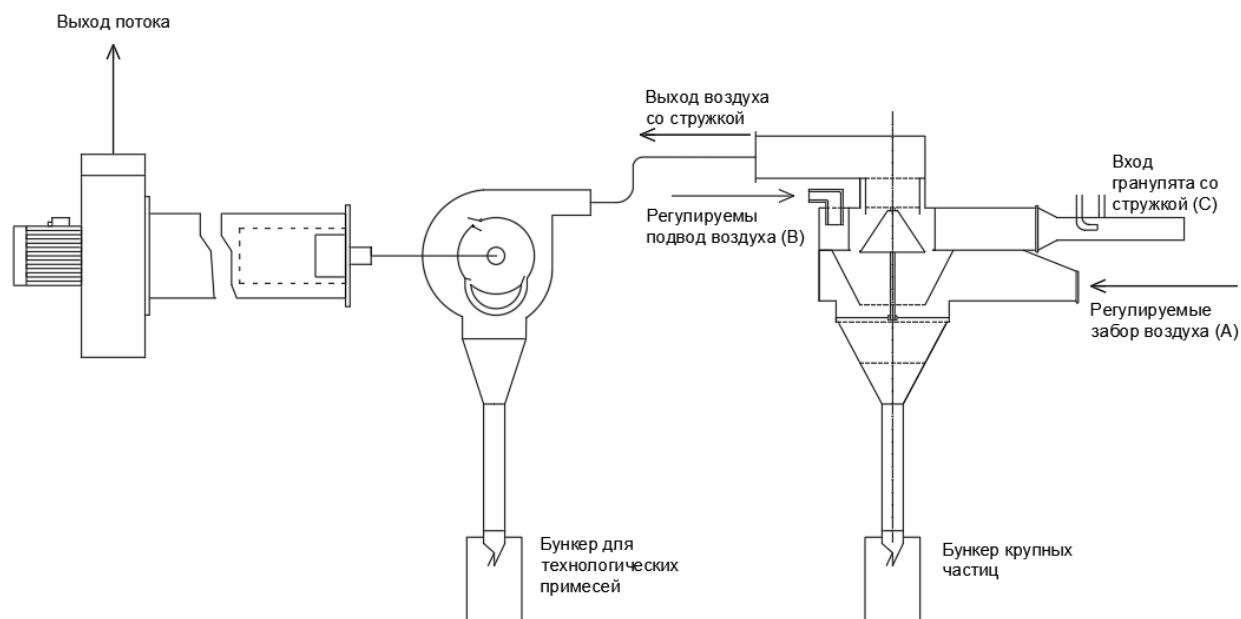


Рисунок 8- Установка комплексной очистки

Данный аппарат комплексной очистки работает непрерывно. Из-за чего отсутствуют переуплотнения при слеживаемости гранулированного материала, то есть материал не теряет свое свойство сыпучести.

На рисунке 9 изображено устройство, которое может быть использовано в качестве центробежного сепаратора. Данное устройство состоит из улиточного корпуса 1 с приёмником 2 очищенного материала, в нем закреплена коническая втулка в виде подвижного отражательного конуса 3, большое основание которого находится в конической обечайке 4. Под основанием корпуса 1 установлена улиточная камера 5 дополнительной продувки, охватывающая коническую обечайку 4, с образованием щели 6, сообщённой с приёмником 2. К верхней стенке корпуса 1 прикреплена криволинейная пластина 7, охватывающая патрубок для вывода примесей. В корпусе 1 расположена шторка с полкой 8 и шарнир 9. К корпусу прикреплены патрубки 10 и 11, а к камере 5 - продувочный патрубок 12 дополнительного воздуха.

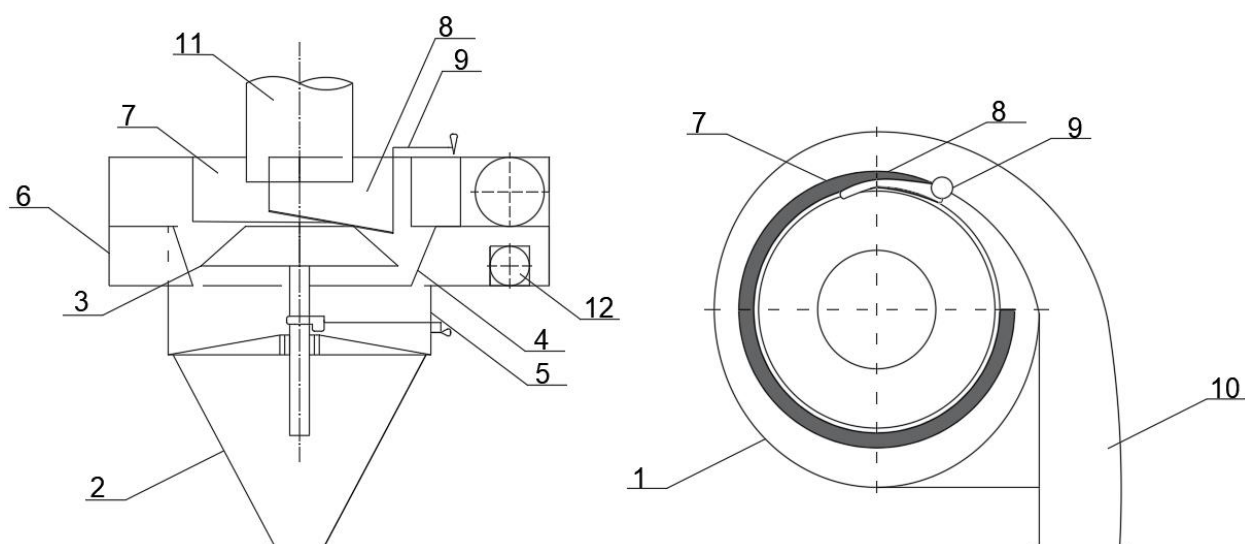


Рисунок 9 – Центробежный сепаратор

Принцип работы устройства следующий [31].

Гранулы с технологической примесью из патрубка 10 перемещаются в канале переменного сечения образованного криволинейной поверхностью корпуса 1 и пластиной 7. За счет взаимодействию со стенками канала и магнусовых сил гранулированный материал распределяется по сечению равномерно, тогда как пыль выделяется на криволинейную поверхность канала. Гранулы по ходу потока через зазор, между нижней стенкой корпуса 1 и пластиной 7 сдуваются воздухом на отражательный корпус 3, откуда он попадает на поверхность обечайки 4 и затем в приёмник 2. Продувочный воздух в количестве 5-20 % от транспортного подаётся через продувочный патрубок 12 в камеру 5, где распределяется равномерно по окружности. Продувочный газ многократно обдувает ссыпавшийся материал и запирает транспортный вихрь в корпус 1, препятствуя его проникновению в приёмник 2. Крупная примесь из транспортного канала по криволинейной стенке и посредством шторки с полкой 8 выводится в патрубок 11, мелкая примесь сдувается с гранул струёй транспортного газа, натекающей через зазор между пластиной 7 и стенкой корпуса 1, а также многократным воздействием продувочным воздухом. Таким образом, установка пластины 7 обеспечивает лучшую транспортирующую способность, более интенсивное обдувание

гранул при электростатической адгезии на них пыли; установи обечайки 4 и камеры 5 обеспечивает равномерную подачу по зазорам продувочного воздуха, многократно обдувающего пересыпающиеся гранулы и запирающего транспортный вихрь в корпусе 1, что позволяет надёжно проводить отсеивание в широком диапазоне положения отражательного конуса 3 при высоких концентрациях продукта в транспортной магистрали и условиях электризации материала.

Проводились экспериментальные исследования данного аппарата производительностью $89,8 \text{ м}^3/\text{ч}$, максимальная скорость воздуха во входном канале 22 м/с , концентрация смеси гранулированного материала с пылью была $0,44 \text{ кг/м}^3$.

Изображенное устройство на рисунке 10, которое очищает газ от пыли, может быть применено в качестве пылеконцентратора [32]. Данное устройство содержит спиральный газоход 1 прямоугольного сечения с изогнутыми наружной 2 и внутренней 3 боковыми стенками, верхней 4 и нижней 5 стенками, отвод очищенного газа в виде продольной щели 6, выполненной во внутренней стенке 3, центробежный пылесадитель 7, присоединенный к пылеотводному каналу 8, расположенному у наружной стенки 2 на выходном конце газохода 1. Продольная щель 6 выполнена на расстоянии α , соответствующему углу $\pi/4$ от входа газохода 1. Высота щели 6 составляет $0,2-0,25$ высоты h внутренней стенки 3 в каждом сечении, площадь поперечного сечения пылеотводного канала 8 составляет $0,3-0,5$ площади поперечного сечения входного конца газохода. Пылесадитель снабжен вытяжным вентилятором 9, нагнетательный патрубок 10 которого присоединен к входу газохода 1 у наружной стенки 2.

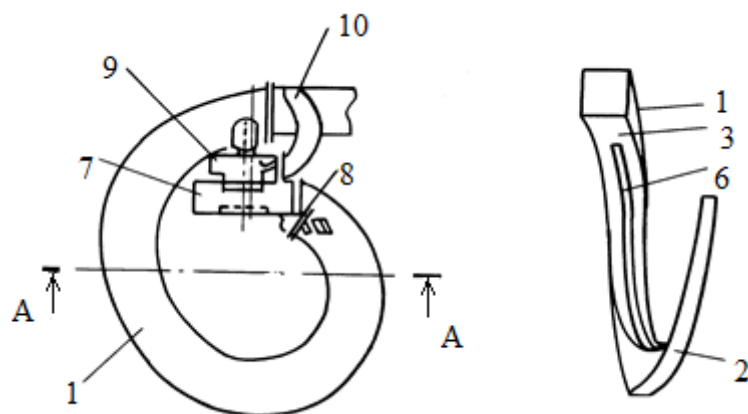


Рисунок 10 – Пылеконцентратор

Газовый поток с примесью под небольшим напором 0,3-0,6 кПа поступает в газоход 1, где частицы за счет центробежных сил концентрируются у периферийной поверхности боковой стенки 2, газ в количестве 85-95% стекает в щель 6, а оставшая часть газа вместе с примесью выходит в осадитель 7. На расстоянии от входа, соответствующем углу поворота потока на $\pi/4$, происходит ускорение, стабилизация потока и предварительная сепарация частиц, т.е. оттеснение их от внутренней криволинейной поверхности стенки 3. В последующих сечениях транзитная скорость остается постоянной за счет уменьшения проходного сечения и вытекания газа через щель 6. Давление газа оказывается достаточным во всех сечениях канала, чтобы способствовать выходу газа по всей длине щели 6 со скоростью, близкой к транзитной скорости потока вдоль газохода, при высоте щели 6 в каждом сечении 0,2-0,25 высоты стенки 3. Значение транзитной скорости в пределах 8-20 м/с во всех сечениях канала способствует надежному транспортированию примеси, склонной к налипанию на поверхности.

Во всех сечениях газ перемещается с малыми скоростями. Скорости несущественно воздействуют на перемещение материала к щели. Поперечные циркуляционные сечения в большей мере способствуют переносу частиц к щели, однако из-за искривлений линий тока газа, подтекающего к щели, частицы могут вторично пройти стадию сепарации и сконцентрироваться у

периферийной поверхности. Уменьшение высоты газохода способствует уменьшить количество отведенного с примесью газа в осадитель 7, без нарушения классификации. Это происходит благодаря уменьшению поперечного сечения пылеотводного канала 8. Наилучший результат достигается при величине 0,3-0,5 площади поперечного сечения выходного конца газохода[33].

Центробежными силами в осадителе 7 поток освобождается от примесей, далее примесь осаждается в приемнике. Затем по центрально расположенному патрубку попадает в вытяжной вентилятор 9 с вращением крыльчатки в сторону, обратную направлению вращения потока в осадителе 7.

Данный пылеконцентратор компактен. По сравнению с другими пылеочистными устройствами, позволит снизить выбросы вдвое, так же увеличится эффективность очистки от примесей, которые склонные прилипать к поверхности

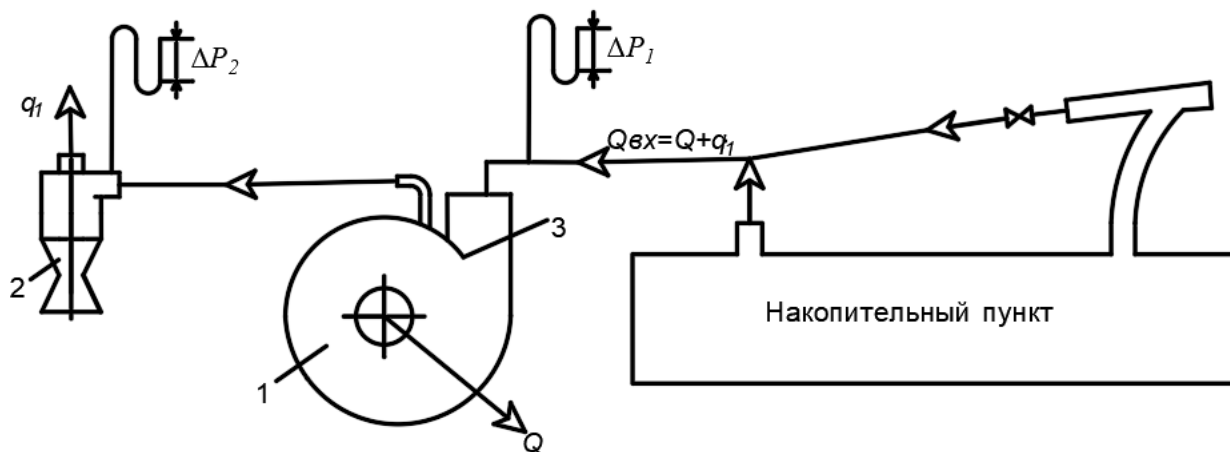


Рисунок 11 – Способ сепарации из воздушного потока наэлектризованной полимерной примеси

При транспортировании сыпучих материалов, аппараты очистки могут стать источником пожаров, так как могут возникнуть разряды статического электричества. При перемещении смеси заряды могут создаваться при трении и разделении материала. Анализ литературных источников показывает [], что в аппаратах пылеотделения происходит наибольшее количество взрывов пыли.

Необходимо совершенствовать аппараты и проводить специальные методы для обеспечения взрывобезопасности.

На рисунке 11 изображен способ очистки от наэлектризованной пыли [34]. Принцип действия следующий:

Поток технологической примеси подают в концентратор 1, в нем, благодаря спиралевидной конструкции, на примесь действует центробежные силы, из-за чего примесь концентрируется на стенке кожуха и дальше пыль поступает в отделитель 2, где отделяется от потока.

Большинство очищенного воздуха, имея расход Q , удаляется из концентратора 1 центральным патрубком. Для устранения появлений наэлектризованной технологической примеси и зависание жгутов в циклоне аппарата предусмотрено вводить гранулированный материал полиэтилена, посредством эжекторного питателя или другими возможными способами, в количестве несколько раз превышающей содержание примеси. Поток нагнетается со скоростью около 22 м/с вдоль криволинейной поверхности. Соотношение расходов очищенного и отводимого загрязненного потоков устанавливают из условия содержания примеси в отводимой загрязненной части потока в пределах 1-10 г/м³.

Имея скорость около 22 м/с, гранулированный материал сталкивается о криволинейную поверхность, из-за сил упругости, сил Магнуса и центробежной, происходит разбиение образовавшихся жгутов, разрушаются сгустки технологической примеси. Далее примесь распределяется равномерно поперек потока и, за счет электрических сил, входит в контакт с поверхностью. Количество гранул зависит от содержания в примеси волокон, стружки, сгустков и их размеров и должно подбираться таким образом, чтобы вся криволинейная поверхность была подвержена диспергированию. Если скорость будет больше 25 м/с, гранулированный материал будет уноситься в атмосферу.

По мере движения потока газа вдоль криволинейной поверхности концентратора и концентрирования примеси на поверхности образуется подстилающий слой из частиц примеси, который уменьшает рикошетирующее

частиц гранулята, движущихся с незначительной амплитудой в прыжковом режиме. Подстилающий слой образуется при концентрации частиц примеси в отводимой части потока более 1 г/м^3 . При концентрации частиц примеси более 10 г/м^3 гранулы застревают в подстилающем слое, увеличивая трение слоя, ухудшается несущая способность потока вследствие его торможения частицами, эффективность сепарации уменьшается, вывод частиц затрудняется. Затрудняется также контакт частиц с поверхностью. Концентрация частиц в загрязненной части потока регулируется количеством отводимого из спирального концентратора газа вместе с частицами примеси, который затем направляется в циклонный осадитель. Очищенная часть газа выводится в атмосферу. В циклонном осадителе, вводимый с примесью и гранулами газовый поток, закручивается, при этом частицы примеси и гранулята по периферии отводятся из сепарационной зоны. Гранулы способствуют выводу примеси в приемник и улучшению текучести смеси при удалении ее из приемной емкости. Очищенный в циклонном осадителе поток, выводится в атмосферу, а примесь и гранулы отправляются на переработку в изделия. При этом наличие гранулята в примеси улучшает ее сыпучесть ввиду того, что частицы больших размеров имеют меньшую поверхность соприкосновения и обладают большей подвижностью. Это облегчает истечение материала из расходных емкостей перерабатывающих машин, увеличивая их производительность [36].

Контроль количества воздуха, сбрасываемого через центральный патрубок концентратора Q и циклон q_1 , соответственно ведется с помощью манометров по перепадам давлений ΔP_1 и ΔP_2 , которые зависят от расходов, а ΔP_1 , кроме того, от положения шибера 3, что определяется тарировкой или расчетом, если поставлены аппараты с известными коэффициентами гидравлического сопротивления.

Заданными параметрами являются количество воздуха, входящего в концентратор 1:

$$Q_{\text{вх}} = Q + q_1; \quad (1)$$

Содержание примеси в воздухе $C_{\text{вх.прим}}$, ($\text{кг}/\text{м}^3$), Количеством воздуха из эжектора пренебрегают. Количество гранулята, которое необходимо подать в единицу времени на вход концентратора определяется из соотношения:

$$G_{\text{гр}} = C_{\text{гр}} \cdot Q_{\text{вх}}; \quad (2)$$

где $C_{\text{гр}}$ – необходимая концентрация гранулята в потоке воздуха, определяемая из соотношения:

$$C_{\text{гр}} = (1 - 10) \cdot C_{\text{вх.прим}}; \quad (3)$$

Количество загрязненного потока в циклоне, устанавливаемое по перепадам ΔP_1 и ΔP_2 , определяют из соотношения:

$$q_{\text{отв}} = \frac{Q_{\text{вх}} \cdot C_{\text{вх.прим}}}{C_{\text{отв.прим}}}; \quad (4)$$

где $C_{\text{отв.прим}} = (1 - 10) \cdot C_{\text{вх.прим}}$.

3.2 Описание экспериментального стенда

Задача экспериментального исследования состояла в получении оптимальных результатов очистки гранулированного материала от технологических примесей. Наилучший результат был достигнут, путем изменения условий перемещения потока по криволинейному каналу.

Схема компоновки аппарата, на котором проводились исследования, приведена на рисунке 8. В пункте 3.1 указывался аппарат, состоящий из трех ступеней очистки: центробежный сепаратор, вихревая камера и фильтр.

1. В центробежном сепараторе гранулы полиэтилены высокого давления очищаются за счет транспортирующего потока. Технологическая примесь прижимается к стенке за счет центробежной силы и устремляется по направляющей к заслонке в центр вихря и выносится дальше с потоками, а гранулы полиэтилена выпадают из общего потока в щель, расположенной в

нижней части сепаратора. Ниже канала там, где вводится поток продувочного воздуха, имеется отражатель вынужденного вихря, на котором формируются радиальные токи. В результате чего происходит доочистка гранулированного материала.

При разработке и создании центробежного сепаратора, была предусмотрена возможность влиять на характер течения потока с гранулированным материалом. Благодаря возможности менять расположение внутренних частей, таких как регулируемый по высоте подвижный отражательный конус и криволинейная пластина (поворотная ограждающая шторка), был достигнут совершенный результат.

Изменение положения криволинейной пластины (поворотная ограждающая шторка) относительно входного патрубка, позволяет обеспечить более лучшую транспортирующую способность и более лучший обдув гранул, вследствие чего изменяется движение изготовленной смеси в центробежный сепаратор.

В свою очередь можно менять высоту положения отражательного конуса. Это позволяет подбирать оптимальную ширину щели, которая разделяет потоки смеси из входа (А) и входа (С).

Была определена скорость во входном патрубке (вход С) с помощью профессионального инструмента – дифференциального манометра серии "Testo-512". Прибор был подключен к расходомеру во входном патрубке и скорость составила 22 м/с. Прибор позволяет измерить динамическое, статическое и полное давлений с одновременным выводом на двухстрочный дисплей рассчитываемых показаний скорости.

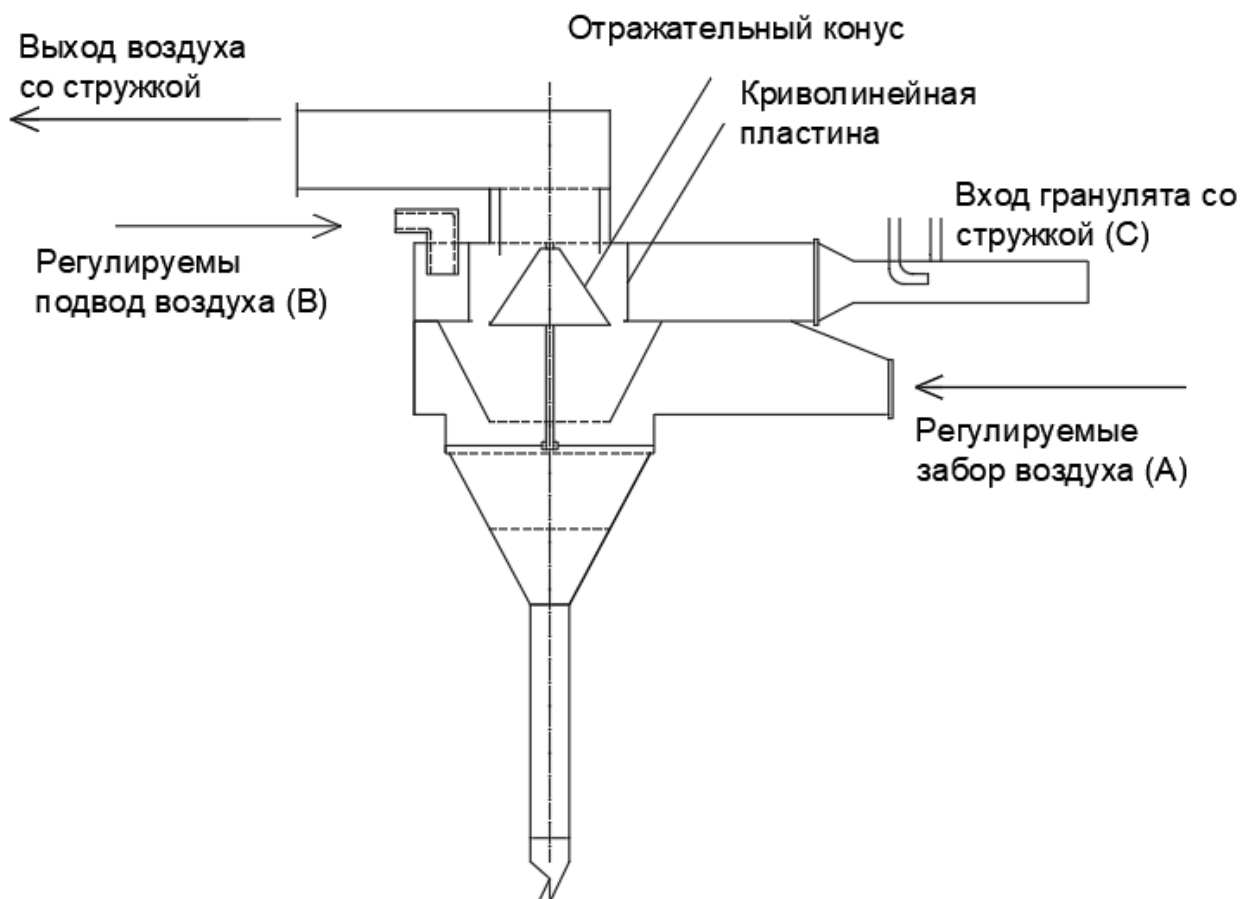


Рисунок 12 – Схема центробежного сепаратора

В случае, когда необходимо очищать объем смеси, который зависает между криволинейной пластиной и корпусом, конструкцией предусмотрен патрубок (В). Через данный патрубок подается воздух, который вызывает «бурление» зависшей смеси гранулята. Напор создается центробежным вентилятором типа ВП-400/0,8.

2. В вихревой камере частицы пыли концентрируются у стенки центробежными силами и выводятся через пылевыводящий патрубок. Благодаря присутствию некоторого количества гранул, пыль не успевает налипать на стенки. Забивки и зависания технологической примеси в концентрате не отмечается, так как несущая транспортирующая способность максимальна во все области сечения.

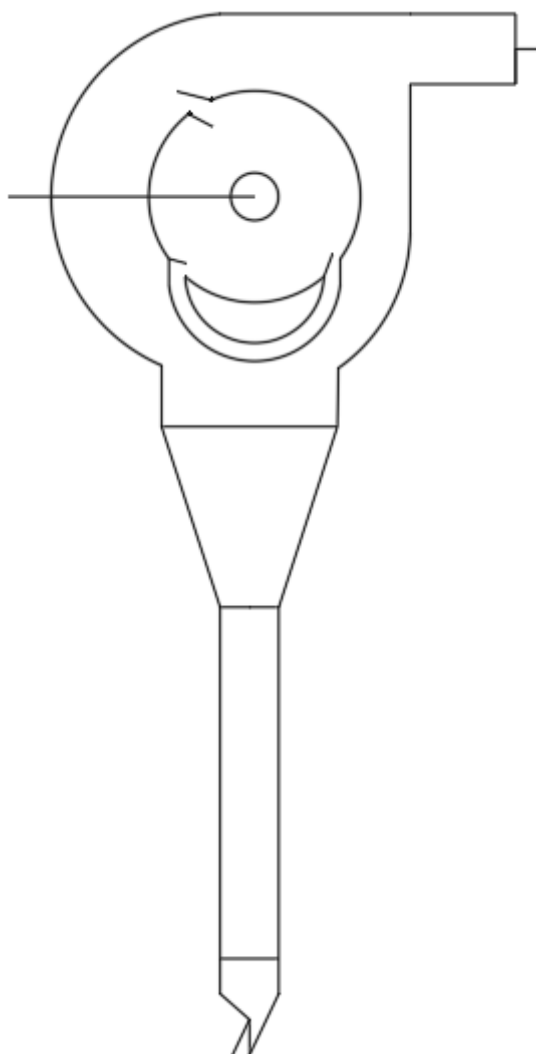


Рисунок 13 – Схема вихревой камеры

3. Фильтр необходим для того, чтобы примесь, которая не задержалась в сепараторе и вихревой камере, остановилась в последней ступени. Так же на рисунке 13 представлен центробежный вентилятор, производства НП ООО "Тайра" ВЦ 5-35 №4 3000об/мин. с производительностью $Q=1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, при разрежении 3000 Па, который обеспечивал движение воздушного потока в установке. Опыты проводились при следующих условиях: температура воздуха в помещении 18 – 22°C, относительная влажность $\varphi = 50\%$ в помещении 18-ой аудитории 4-го корпуса НИ ТПУ. Его основные параметры и аэродинамические характеристики приведены ниже.

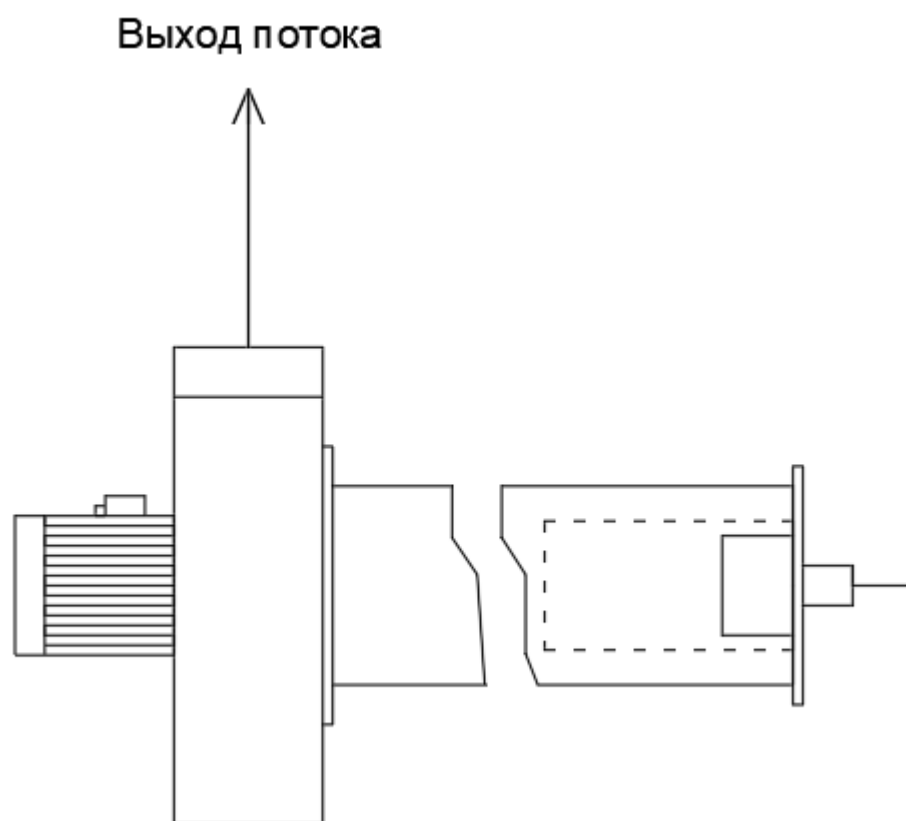


Рисунок 14 – Схема фильтра и вентилятора

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Существующие системы обеспыливания газов в производствах энергетической, химической, металлургической, строительной, пищевой и другой продукции предназначены для улучшения санитарно-гигиенического состояния атмосферного воздуха, улучшения условий труда, извлечения из газа ценных фракций пыли, если улавливаемый материал является основным продуктом процесса.

Одним из наиболее надежных способов очистки промышленных газов от взвешенных частиц является механическая очистка в сухих аппаратах. Циклонные пылеуловители составляют наиболее массовую группу среди пылеулавливающей аппаратуры данного вида и применяются во всех отраслях промышленности.

НИР рассматривает научно-технические основы выделения частиц из запыленного газа при его криволинейном движении в инерционных аппаратах. Проводятся экспериментальные исследования для нахождения оптимальной компоновки аппарата комплексной очистки, при которой достигается наилучший результат очистки гранул от технологических примесей.

Для проведения расчета необходимо проведение технико-экономического обоснования. Это связано с необходимостью оценки объема работ и материальных вложений для реализации всего плана исследования, включающих в себя теоретическую проработку темы и проведение расчетов.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для выполнения анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Под целевым рынком понимают сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками. Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых потребуется определенный товар. Для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение, отрасль, выпускаемая продукция и др.

Предположим, что целевым рынком для данной работы является рынок производственных предприятий. Сегментируем производственные предприятия по следующим критериям: размер предприятия и вид товара. На основании этих критериев построим карту сегментирования (таблица 8).

Таблица 8 – Карта сегментирования рынка услуг

		Вид товара			
		Хим. произ.	Сельхоз. произв.	Пром. произв.	Хоз. деятельность
Размер компании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				
		- Аппарат комплексной очистки			

На карте сегментирования показано, какие ниши на рынке не заняты конкурентными разработками. Как видно из таблицы 1, результаты данной

научной работы могут быть полезны: малых и средних предприятий различных направлений.

4.1.2 Анализ конкурентных решений

Данное устройство по комплексной очистке гранулированного материала может использоваться в разных областях хозяйства. Существует множество аналогов со своими достоинствами и недостатками. Одним из них является пневматический классификатор, используемый при классификации зернистого материала. В конечном итоге, выбранный в качестве конкурирующего решения [37].

Экспертная оценка основных технических характеристик данных продуктов представлена в таблице 9.

Таблица 9 – оценочная карта сравнения конкурентного технического решения

№	Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
			Бф	Бк1	Кф	К1
	1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности						
1	Повышение производительности труда пользователя	0,2	5	2	1	0,4
2	Удобство эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) в	0,2	5	3	1	0,6
3	Помехоустойчивость	0,03	4	3	0,12	0,09
4	Энергоэкономичность	0,05	4	5	0,2	0,25
5	Надежность	0,07	4	3	0,28	0,21
6	Простота эксплуатации	0,1	5	2	0,5	0,2

Продолжение таблицы 9

Экономические критерии оценки эффективности						
1	Конкурентоспособность продукта	0,1	5	2	0,5	0,2
2	Уровень проникновения на рынок	0,05	1	4	0,05	0,04
3	Цена	0,1	4	2	0,4	0,2
4	Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	5	0,4	0,5
	Итого	1	63	44	4,45	2,69

Данные аппараты по очистке гранулированного материала практически одинаково эффективны. Различие заключается лишь в способе классификации. Преимущество собственной разработки заключается в компактности оборудования, благодаря чему, не требуется больших пространственных площадей. Можно считать то, что данный продукт на рынке РФ является уникальным.

Также сильной стороной является то, что данная система проста в использовании, так как разрабатывалась с тем учетом, что большинство рабочего персонала не будет иметь большого опыта работы с инерционными аппаратами.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Матрица составляется на основе анализа рынка и конкурентных технических решений, и показывает сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы для разработки.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 10.

Таблица 10 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>СЛ1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>СЛ2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>СЛ3. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ</p> <p>СЛ4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>СЛ5. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемые при проведении научного исследования.</p>
Возможности	<p>В3 С3С4. Помощь бюджетирования позволит уменьшить себестоимость производства, в связи с чем, увеличится спрос на продукт.</p> <p>В1С1С2. При помощи инновационной инфраструктура ТПУ можно создавать и реализовывать новые энергоэффективные и экологичные технологии.</p>	<p>В3СЛ5. В случае появления дополнительного спроса на продукт может повлечь за собой увеличение комплектующих материалов, что приведет к увеличению срока поставок.</p>
<p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2. Использование инфраструктуры ОЭЗ ТВТ Томск</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследований.</p> <p>В5. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>		

Продолжение таблицы 10

Угрозы	У2С3. Низкая себестоимость продукта позволит конкурировать на рынке.	У3СЛ1. Отсутствие прототипа научной разработки не позволит экспортировать продукт, в ближайшее время.
У1.Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2.Развитая конкуренция технологий производства. У3.Ограничения на экспорт технологий. У4.Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции. У5.Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.	У4С1С2. Высокие показатели эффективности и экономичности в будущем позволят пройти более жесткие требования государственных ограничений.	У5СЛ4СЛ5.Отсутствие необходимого оборудования и большой срок поставок комплектующих материалов с учетом несвоевременного финансирования негативно повлияет на весь процесс исследования

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Соотношения параметров представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	-	0	+
	В2	+	0	+	+	0
	В3	0	+	0	-	-
	В4	+	-	+	+	0
	В5	-	-	+	+	-
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4	СЛ5
	В1	0	-	-	0	-
	В2	-	-	0	-	+
	В3	+	-	+	0	+
	В4	-	+	+	+	-
	В5	0	-	0	-	+
Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	0	+	+	+	0
	У2	-	+	0	+	-
	У3	-	0	-	+	0
	У4	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 11

	У5	-	-	0	+	+
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4	СЛ5
	У1	+	-	+	+	-
	У2	0	0	+	-	0
	У3	+	+	+	+	-
	У4	+	-	0	-	-
	У5	0	0	+	+	0

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в табл. 12.

Таблица 12 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	2

Продолжение таблицы 12

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	50	40

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика лежат в диапазоне от 40 до 50, что говорит о средней перспективности проекта. Многие аспекты вывода продукта на рынок не были учтены, а также проявляется недостаток знаний. Следовательно, требуется дополнительные затраты на наём или консультации у соответствующих специалистов [38].

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Перспективность данного научного исследования выше среднего, поэтому не все аспекты рассмотрены и изучены. Таким образом, для организации предприятия этого недостаточно. Но так как основной научно-

технический задел определен, этого достаточно для коммерциализации следующих методов:

- торговля патентной лицензией. Данный комплекс, является собственностью НИИ ТПУ. Аппарат комплексной очистки при дальнейшей модернизации и совершенствовании, станет востребованным на рынке и появится возможность передачи третьим лицам на лицензионной основе;
- передача ноу-хау, то есть предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау.

Степени проработанности научного проекта и уровень знаний разработчика достаточно для реализации пунктов, которые были выбраны

4.2 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

4.2.1 Цели и результаты проекта

Перед определением целей необходимо перечислить заинтересованные стороны проекта. Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 13:

Таблица 13 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Разработчик	Получение прибыли со своего продукта
Эксплуатационный персонал	Надежность в эксплуатации

Продолжение таблицы 13

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Научный руководитель, студент	Выполненная выпускная квалификационная работа
Государство	Создание новых конкурирующих технологий внутри страны
Предприятие	Покупка новых технологий, увеличивающих их прибыль
ТПУ	Увеличение разработок, повышающих статус вуза

Цели и результат проекта представлены в таблице 7

Таблица 14 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	<ul style="list-style-type: none"> проанализировать системы очистки смеси ПЭВД и воздуха от вредных примесей, с целью совершенствования эффективности процесса классификации. разработать предложения по повышению эффективности очистки гранул.
Ожидаемые результаты проекта:	Успешное внедрение аппарата комплексной очистки в соответствующие компании.
Критерии приемки результата проекта:	Сравнение полученных результатов с предыдущими исследованиями и выявление оптимальной компоновки комплексной очистки гранул ПЭВД.
Требования к результату проекта:	Требование: Получение оптимального результата по очистке гранулированного материала. Все посторонние примеси должны быть отсепарированы.

4.2.2 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Эту информацию представить в табличной форме (табл. 15).

Таблица 15 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения
Бюджет проекта	170000 рублей
Источник финансирования	НИТПУ
Сроки проекта	01.01.2018 – 31.05.2019
Фактическая дата утверждения плана управления проектом	12.12.2018
Плановая дата завершения проекта	31.05.2019

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 16 представлена иерархическая структура ВКР.



Рисунок 16 – Иерархическая структура по ВКР

В данном проекте будет использована иерархическая структура проекта – укрупненная детализация процесса выполнения ВКР. Иерархическая структура подходит больше, потому что технология является новой и не исследуемой ранее, сложность проекта высока.



В ней структурируются все этапы создания диссертации. Начиная с разработки технического задания и анализа многих актуальных источников литературы в данной области. Далее установкой экспериментального стенда и проведения на нем инженерных исследований, с последующим их анализом. Обобщением всей собранной и полученной информацией, с последующей подготовкой к защите.

4.3.2 План проекта

Разработаем диаграмму Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени

отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

В выполнении работы принимают участие два сотрудника:

1. руководитель работы – кандидат технических наук (к.т.н.) - 
2. магистрант - 

Распределение обязанностей между сотрудниками представлено в таблице 16:

Таблица 16 – Распределение обязанностей

Содержание работы	Исполнитель
Изучение литературы по теме	Магистрант
Изучение существующих систем очистки	Магистрант
Подготовка доклада к конференции	Руководитель, магистрант
Участие в конференции	Магистрант
Разработка метода расчета	Руководитель, магистрант
Обсуждение результатов	Руководитель, магистрант
Графическая часть	Магистрант
Оформление отчета	Руководитель, магистрант

Исходя из этого, мы получим календарный план выполнения НИР и линейный график работ по выполнению НИР (см. таблицу 17).

График строится в виде таблицы с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 17. – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Содержание работ	Длительность работы, дней	Календарные дни											
		февраль			март			апрель			май		
Изучение литературы по теме	28												
Изучение систем очистки	10												
Подготовка докладов к конференции	10												

Продолжение таблицы 17

Содержание работ	Длительность работы, дней	Календарные дни											
		февраль			март			апрель			май		
Участие в конференции	5				△								
Разработка метода расчета	30					△	◇						
Обсуждение результатов	5							△	◇				
Графическая часть	5									△			
Оформление отчета	30										△		

Таким образом, получаем, что вся работа займет 4 месяца (120 дней).

4.3.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

Расчет потребности в материальных затратах

Таблица 18 – Материальные затраты на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Материальные затраты	Ед. изм.	Объем потребления	Тариф, руб/ед.	Итого, руб.
Электроэнергия: – освещение	кол. часов. работы х потреб. мощн.	350ч. х 100 Вт = 35 кВт·ч	5 кВт/ч	175
Ноутбук LENOVO ideapad 310		250ч. х 750 Вт = 187,5 кВт·ч		938

Продолжение таблицы 18

Материальные затраты	Ед. изм.	Объем потребления	Тариф, руб/ед.	Итого, руб.
Кухонные весы Аксион ВКЕ-21	шт		570	570
ПЭВД	упаковка, шт	1 кг	105	105
Итого:				1788 руб.

*Расчет потребности специальном оборудовании и расчет амортизации
Стоимость экспериментального стенда*

Задачи проекта решаются на базе оборудования, находящегося в 4 корпусе НИ ТПУ. Главным объектом развития и оптимизации технологии является экспериментальная установка, состоящая из трех основных ступеней:

1. Сепаратор
2. Вихревая камера.
3. Воздушный насос.

Это устройство предназначено для очистки ПЭВД от вредных примесей, таких как стружка, пыль, волокна и т.д. Стоимость основных вспомогательных компонентов аппарата приведены в таблице.

Таблица 19 - Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Наименование	Стоимость за единицу, руб.	Амортизация (год), руб.	Амортизация (проект), руб.	Суммарная цена, руб.
Стоимость экспериментального стенда				51180

Продолжение таблицы 19

Наименование	Стоимость за единицу, руб.	Амортизация (год), руб.	Амортизация (проект), руб.	Суммарная цена, руб.
Воздушный насос	25 000	5000	1643,8	30000
Сепаратор	8100	1620	532,6	9720
Вихревая камера	6 050	1210	397,8	7260
Основной фильтр	1750	350	115,1	2100
Вспомогательный фильтр	1750	350	115,1	2100

Расчет фонда оплаты труда

Основная заработная плата

В данной НИР, включается основная заработная плата научных и технического персонала, а также студента магистранта. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется «Положением об оплате труда»). Расчет основной заработной платы приводится ниже.

Величина заработной платы вычисляется по формуле:

$$ЗП = ЗП_T + ЗП_D + ЗП_П, \quad (17)$$

где $ЗП_T$ – тарифный фонд заработной платы (по окладам);

$ЗП_D$ – дополнительная заработная плата за неотработанное время (отпуск);

$ЗП_П$ – доплаты за условия работы и проживание.

$$ЗП_T = 10000 \text{ руб} \quad (18)$$

Выплаты за неотработанное время составляют для руководителя – 15 %.

$$ЗП_D = 0,15 \cdot 10000 = 1500 \text{ руб} \quad (19)$$

Выплаты, обусловленные районным регулированием оплаты труда (выплаты по районным коэффициентам), для города Томска районный коэффициент – 30%.

$$ЗП_{\Pi} = 0,3 \cdot 10000 = 3000 \text{ руб.}$$

Итого заработная плата составит:

$$\text{Для руководителя: } ЗП = 10000 + 1500 + 3000 = 14500 \text{ руб.}$$

$$\text{Для магистранта: } ЗП = 2477,8 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (20)$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{\text{доп}} = 0,1$);

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = 14500 \cdot 0,1 = 1450 \text{ рублей}$$

В таблице 20 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 20 – Заработная плата исполнителей ВКР, руб

Заработная плата	Руководитель	Магистр
Основная зарплата	14500	2477,8
Заработная плата	Руководитель	Магистр
Дополнительная зарплата	1450	–

Продолжение таблицы 20

Заработная плата	Руководитель	Магистр
Зарплата исполнителя	15950	2477,8
Зарплата исполнителя за 4 месяца	63800	9911,2
Итого	73711,2	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (14500 + 1450) = 4785 \text{ руб.} \quad (21)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$\text{Итого за 4 месяца: } C_{\text{внеб}} = 4785 \cdot 4 = 19140 \text{ руб}$$

Накладные расходы

В эту статью относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (22)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot (14500 + 1450) = 4785 \text{ руб.}$$

$$\text{Итого за 4 месяца: } C_{\text{накл}} = 4785 \cdot 4 = 19140 \text{ руб.}$$

Расчет себестоимости аппарата конкурента

В таблицу 21 сведены расчеты материальных затрат по проектному аппарату.

Таблица 21 - Расчет материальных затрат по проекту.

Наименование материалов и полуфабрикаты	Вес, т	Цена, руб	Сумма, руб.	Амортизация (год), руб	Амортизация (проект), руб.	Суммарная цена, руб.
Марка стали ст. 3	2,5	40000	100000	20000	3287,7	120000
Транспортно-заготовительные расходы	-	7%	7000	1400	230,1	8400
Воздушный насос		25000	25000	5000	822	30000
Итого						158400

Расчет трудоемкости и основной заработной платы рабочих:

Основная заработная плата производственного рабочего:

$$ЗП_{\text{осн}} = 34000 \text{ руб.}$$

За 2 месяца работ по изготовлению пневмокласификатора, основная заработная плата рабочего составит 68000 рублей.

Дополнительная заработная плата производственных рабочих составит 20% от основной заработной платы:

$$ЗП_{\text{доп}} = 0,2 \cdot ЗП_{\text{осн}},$$

$$ЗП_{\text{доп}} = 0,2 \cdot 34000 = 6800 \text{ руб.}$$

Таблица 22 – Заработная плата

Заработная плата	Рабочий
Основная зарплата	34000
Дополнительная зарплата	6800
Зарплата исполнителя	40800
Зарплата исполнителя за 2 месяца	81600

Отчисления на социальные нужды

Отчисление в фонд социального страхования составит 30% от основной и дополнительной заработной платы производственных рабочих:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

$$C_{\text{внеб.}} = (34000 + 6800) \cdot 0,3 = 12240 \text{ руб.}$$

За два месяца отчисление в фонд социального страхования составит 24480 рублей.

Накладные расходы

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

$$Z_{\text{изн. инв.}} = (34000 + 6800) \cdot 0,3 = 12240 \text{ руб.}$$

За два месяца отчисление в фонд социального страхования составит 24480 рублей.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 23 – Бюджет затрат НТИ

№	Затраты по статьям						
	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Осн. З.П.	Накл. расходы	Отч. на соц. нужды	Аморт.	Итого плановая себестоимость
1	1788	51180	73711,2	19140	19140	2807,4	167767
2	-	158400	81600	24480	24480	4340	293300

В результате было получено, что бюджет затрат НТИ составит 167769 руб. При этом затраты у конкурентов составляют 293300 рублей, из чего можно сделать вывод что полученный продукт будет экономичней, чем у конкурентов.

4.3.4 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная [39].

Для выбора наиболее подходящей организационной структуры можно использовать табл. 24.

Таблица 24– Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая

Продолжение таблицы 24

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

В данном случае выбор лежит к проектной структуре проекта из-за особенностей разработки. Составляющая проекта является модульные системы, работающие в постоянном взаимодействии с другими модулями. Также основной причиной выбора проектной структуры является то, что технология проекта является новой, и имеются ограниченные сроки реализации.

4.3.5 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. Пример плана управления коммуникациями приведен в табл. 25.

Таблица 25 – Пример плана управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Руководитель проекта	Представителю заказчика	Ежеквартально (первая декада квартала)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Участникам проекта	Еженедельно (пятница)
3.	Документы и информация по проекту	Ответственное лицо по направлению	Руководителю проекта	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события

4.3.6 Реестр рисков проекта

Произведем оценку рисков. Определение рисков является одним из важнейших моментов при создании проекта. Учет рисков поможет при реализации проекта избежать опасных факторов. Далее производится оценка важности рисков. При оценке важности рисков оценивается вероятность их наступления (P_i). По шкале от 0 до 100 процентов: 100 – наступит точно, 75 – скорее всего наступит, 50 – ситуация неопределенности, 25 – риск скорее всего не наступит, 0 – риск не наступит. Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом (w_i). Важность оценивается по 10 - балльной шкале b_i . Оценки важности рисков приведены в таблицах:

Таблица 26 – Социальные риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i * w_i$
1	Низкая квалификация ремонтного персонала	0	2	0,071	0
2	Непросвещенность компаний в области инерционных аппаратов	50	5	0,178	8,928
3	Бюрократические проволочки на стадии регистрации	50	8	0,285	14,285
4	Несоблюдение техники безопасности	25	7	0,25	6,25
5	Увеличение нагрузки на персонал	50	5	0,178	8,928
6	Отсутствие корпоративных стандартов	75	1	0,035	2,678
	Сумма		28	1	41,071

Таблица 27 – Экономические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i * w_i$
1	Инфляция	100	1	0,019	1,960
2	Экономический кризис	25	2	0,039	0,980
3	Недобросовестность поставщиков	25	6	0,117	2,941
4	Непредвиденные расходы в плане работ	50	7	0,137	6,862
5	Снижение уровня спроса на продукцию	50	10	0,196	9,803
6	Сложность выхода на мировой рынок вследствие монополизированность рынка	75	7	0,137	10,294
7	Колебания рыночной конъюнктуры	25	6	0,117	2,941
8	Отсутствие в числе сотрудников экономистов	25	2	0,039	0,980
9	Низкие объемы сбыта	50	10	0,196	9,803
	Сумма		51	1	46,568

Таблица 28 – Политические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i * w_i$
1	Снижение приоритета Правительства РФ в области промышленных технологий	25	7	0,466	11,666
2	Смена власти	0	1	0,066	0
3	Угроза национализации	0	1	0,066	0
4	Отсутствие поддержки со стороны чиновников	75	6	0,4	30
	Сумма		15	1	41,666

Таблица 29 – Технологические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i * w_i$
1	возможность поломки оборудования	25	7	0,25	6,25
2	низкое качество поставленного оборудования	25	9	0,3214	8,0357
3	неправильная сборка оборудования	25	8	0,2857	7,1428
№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i * w_i$
4	опасность для работающего персонала и аппаратуры	75	4	0,1428	10,714
	Сумма		28	1	32,142

Таблица 30 – Научно-технические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i * w_i$
1	развитие конкурентных технологий	75	7	0,145	10,937
2	создание новых методов очистки ПЭВД	75	7	0,145	10,937
3	риск невозможности усовершенствования технологии	50	8	0,166	8,333
4	отсутствие результата в установленные сроки	50	7	0,145	7,2916
5	получение отрицательного результата при внедрении в производство	25	10	0,208	5,208
6	несвоевременное патентование	25	9	0,187	4,687
	Сумма		48	1	47,395

Далее производится расчет общих рисков (таблица 21), который дает общую оценку в 43, т.е. проект имеет право на жизнь, хотя и не лишен препятствий.

Таблица 31 – Общие риски

№ п/п	Риски	P_i	b_i	w_i	$b_i * w_i$
1	Социальные	6	0,162	41,071	6,660
2	Экономические	9	0,243	46,568	11,327
3	Политические	4	0,108	41,666	4,504
4	Технологические	8	0,216	32,142	6,949
5	Научно-технические	10	0,270	47,395	12,809
Итого			9		43

Для того чтобы избежать риски или минимизировать их воздействие на проект необходимо проводить мероприятия по борьбе с рисками. Рекомендуемые мероприятия приведены ниже.

Социальные риски:

1. Низкая квалификация ремонтного персонала - не скупиться на зарплату высококвалифицированному персоналу, затратить время на поиск персонала;
2. Непросвещенность компаний в области инерционных аппаратов – писать статьи в научно-популярных изданиях, проводить работу с инвесторами;
3. Бюрократические проволочки на стадии регистрации – запастись терпением;
4. Несоблюдение техники безопасности – применять информационные стенды и сообщения, обязательное получение допуска по ТБ, ведение журнала ТБ;
5. Увеличение нагрузки на персонал – организация режима труда-отдыха, премирование добросовестных работников;
6. Отсутствие корпоративных стандартов – проведение коллективных мероприятий, «корпоративных пятниц».

Экономические риски:

1. Инфляция – закладывание в бюджет дополнительных потерь финансовых средств от инфляции;
2. Экономический кризис – прогнозирование экономической ситуации;
3. Недобросовестность поставщиков – поиск добросовестных и проверенных поставщиков;
4. Непредвиденные расходы в плане работ – закладка в бюджет и план работ дополнительных расходов;
5. Снижение уровня спроса на продукцию – проведение рекламной кампании;
6. Сложность выхода на мировой рынок вследствие монополизированности рынка – проведение рекламной кампании за рубежом, поиск опытных экономистов;
7. Колебания рыночной конъюнктуры – отслеживание рынка «спроса-предложение», прогнозирование экономической ситуации;

8. Отсутствие в числе сотрудников экономистов – поиск квалифицированных специалистов;

9. Низкие объемы сбыта – поиск покупателей, проведение рекламных кампаний.

Технологические риски:

1. Возможность поломки оборудования – заказ качественного оборудования известных фирм-производителей, качественный монтаж и эксплуатация оборудования;

2. Низкое качество поставленного оборудования – заказ качественного оборудования известных фирм-производителей;

3. Неправильная сборка оборудования – качественный монтаж и эксплуатация оборудования;

4. Опасность для работающего персонала и аппаратуры – проведение мероприятий по ТБ.

Научно-технические риски:

1. Развитие конкурентных технологий, создание новых методов синтеза, риск невозможности усовершенствования технологии – искать и рассматривать всевозможные пути оптимизации;

2. Отсутствие результата в установленные сроки – премирование и штрафные санкции к ответственным за выполнение работ по плану, отслеживание времени начала и окончания работ, четкого графика;

3. Получение отрицательного результата при внедрении в производство – согласование и контакт с возможными покупателями продукта;

4. Несвоевременное патентование – назначение ответственных за написание и оформление патентных документов.

Таким образом, при учете возможности возникновения факторов, указанных при оценке рисков, а также при применении вышеуказанных мероприятий, предлагаемый проект является реализуемым. В особенности при реализации этапа опытно-конструкторских работ следует обратить внимание на научно-технические и технологические риски.

4.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

4.4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

Динамические методы оценки инвестиций базируются на применении показателей:

- чистая текущая стоимость (**NPV**);
- срок окупаемости (**DPP**);
- внутренняя ставка доходности (**IRR**);
- индекс доходности (**PI**).

Все перечисленные показатели основываются на сопоставлении чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности, и их приведении к определенному моменту времени. Теоретически чистые денежные поступления можно приводить к любому моменту времени (к будущему либо текущему периоду). Но для практических целей оценку инвестиции удобнее осуществлять на момент принятия решений об инвестировании средств.

4.4.2 Чистая текущая стоимость (NPV)

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то **NPV** определяется по формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_o \quad (22)$$

где $ЧДП_{опt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t=0, 1, 2 \dots n$);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем. Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: **NPV** > 0.

Чем больше **NPV**, тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

Таким образом, инвестиционный проект считается выгодным, если **NPV** является положительной.

Дисконтированный срок окупаемости

Таблица 32 – План денежных потоков

№	Наименование показателей	Шаг расчета					
		0	1	2	3	4	5
1	Выручка без НДС, руб.	0	120000	120000	120000	120000	120000
2	Полные текущие издержки, руб.	0	-34567	-35478	-39145	-33987	-32987
3	Инвестиционные издержки, руб.	-167767	0	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	43825	43825	43825	43825	43825
5	Налогооблагаемая прибыль	0	76175	76175	76175	76175	76175
6	Налоги, млн.руб. Выр-опер=донал.приб*20 %	0	15235	15235	15235	15235	15235
7	Итого отток, .руб. Опер.затр.+налоги	-167767	59060	59060	59060	59060	59060

Продолжение таблицы 32

№	Наименование показателей	Шаг расчета					
		0	1	2	3	4	5
8	Чистый денежный поток, руб.	-167767	60940	60940	60940	60940	60940
9	Коэф. дисконтирования (приведения при $i=20\%$)	1	0,833	0,694	0,578	0,482	0,402
10	Дисконтированный ЧПД, руб. (с7·с8)	-167767	50763	42292	35223	29373	24498
11	Дисконтированный ЧП нарастающим итогом, руб. (с7·с8)	-167767	- 117004	-74712	-39488	-10115	14383
12	Денежный поток от производственной деятельности (п.1-п.2)	0	85433	84522	80855	86013	87013
Инвестиционная деятельность							
13	Поступление инвестиций	0	0	0	0	0	0
14	Капиталовложения, обслуживание инвестиций, руб.	-60000	-30000	0	0	0	0
15	Сальдо от инвестиционной деятельности (п.13+п.14)	-60000	-30000	0	0	0	0
6	Сальдо суммарного потока (п.12+п.15)	-60000	55433	84522	80855	86013	87013
7	Сальдо накопленного потока	-60000	-4567	79955	160810	246823	333836
8	Коэффициент дисконтирования при ставке дохода 10%	1,0	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621
9	Дисконтированное сальдо суммарного потока (п.16*п.18)	--60000	50388,6	69815,2	60722	58746,9	54035,1
0	Дисконтированные инвестиции (п.14*п.18)	-60000	-27270	0	0	0	0

Таким образом, чистый доход (ЧД) по проекту в целом составляет 333836 рублей, а Чистый дисконтированный доход (ЧДД) определяется суммированием строки 19: ЧДД = 175019,8 рублей. Таким образом, проект является эффективным.

Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости.

Рассчитывается данный показатель примерно по той же методике, что и простой срок окупаемости, с той лишь разницей, что последний не учитывает фактор времени.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (табл. 33).

Таблица 33 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателей	Шаг расчета					
		0	1	2	3	4	5
1	Дисконтированный ЧПД, руб. (стр10)	-167767	50763	42292	35223	29373	24498
2	Дисконтированный ЧП нарастающим итогом, руб. (стр7*стр8)	-167767	-117004	-74712	-39483	10116	14382
3	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{дск} = \frac{117004}{42292} = 2,8 \text{года}$					

Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (ИД)

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле

$$ИД = 1 + \frac{ЧД}{К} = 1 + \frac{298836}{90000} = 3,32 \quad (23)$$

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных

секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Таблица 34 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Существующие системы очистки ПЭВД не позволяют эффективно очищать полиэтилен от технологических примесей	Выявлена и разработана оптимальная установка для классификации ПЭВД
Существующие аппараты очистки гранулированного материала на предприятиях устаревшие и энергозатратны, вследствие чего, увеличивается себестоимость продукции	Аппарат комплексной очистки, разработанный в НИИ ТПУ, позволит снизить себестоимость выпускаемой продукции
Отечественных аналогов по очистке гранулированных материалов на рынке не достаточно	Разработано и в будущем будет выставлено на отечественный рынок сепарационное оборудование, которое увеличит выбор у потребителя

4.4.3 Оценка сравнительной эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (24)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее

численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (25)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (табл.35).

Таблица 35 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Разработка	Пневмоклас сификатор
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	2
3. Помехоустойчивость	0,15	5	3
4. Энергосбережение	0,20	5	3
5. Надежность	0,25	4	4
6. Материалоемкость	0,15	4	4
ИТОГО	1	24	19

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_i^p}{\Phi_{\max}} = \frac{5}{26} = 0,19; I_{\Phi}^a = \frac{\Phi_i^a}{\Phi_{\max}} = \frac{4}{19} = 0,21$$

$$I_T^p = 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 4.35$$

$$I_{T1}^a = 3 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,15 = 2.95$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_T^p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,35}{0,19} = 22,9; I_{\text{финр}}^a = \frac{I_T^a}{I_{\phi}^a} = \frac{2,95}{0,21} = 14,05$$

$$\Xi_{\text{ср}} = \frac{I_{\phi}^p}{I_{\phi}^a} = \frac{0,19}{0,21} = 0,9$$

Таблица 36 Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Пневмокласификатор
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,19	0,21
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,35	2,95
3	Интегральный показатель эффективности	22,9	14,05
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,1	0,9

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. NPV является положительной величиной. Дисконтированный срок окупаемости проекта составляет 2,8 года.

Выводы по главе

Была определена перспективность и успешность научно-исследовательского проекта, разработки механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений по совершенствованию системы очистки полиэтилена высокого давления. Основные задачи данного раздела были выполнены.

Таким образом, данная разработка позволит снизить себестоимость продукции различных производств. На примере ООО «ТНХК» показано, что незначительная реконструкция, замена некоторых агрегатов, изменение параметров потоков, увеличение нагрузки на оборудование приведет к увеличению устойчивости в работе станции, снизится риск как простоев оборудования, так и остановки всего производства из-за различных недостатков в конструкции узлов и аппаратов станции.

Список публикаций

1. Боровиков С.С., Разва А.С. Совершенствование системы очистки гранулированного полиэтилена от технологических примесей // Международная молодежная научная конференция – Томск, Томский государственный университет, 26-28 ноября 2018 (в печати).

Приложение А

Раздел 3

Improvement of a Granulated Polyethylene Cleaning System from Technological Impurities

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ72	Боровиков Сергей Сергеевич		

Консультант отделения НОЦ им. И.Н. Бутакова ИШЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Разва Александр Сергеевич	К.Т.Н.		

Консультант – лингвист отделения ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Обсков Александр Владимирович	К.П.Н.		

Introduction

For the environment and humans, dust emissions are a significant hazard. Dust emissions greatly worsen the environmental conditions of the regions. As well as cause premature wear of industrial equipment and harm the health of people. Particularly acute is the problem of trapping the fine dust evolved with gases. Having a low density, it dissipates and moves to large spaces by streams of atmospheric air [1].

Getting into the human respiratory tract, dust particles larger than 5 microns linger in them. Smaller particles penetrate the lower respiratory tract and contribute to the emergence of acute respiratory diseases. Fine dust causes severe illnesses like pneumoconiosis.

Radical methods of reducing pollution are the improvement of the main technological processes, the introduction, and the creation of new dust treatment plants [2].

With existing methods of obtaining and transporting granular polyethylene, it is important to obtain granulated polyethylene free of fibrous impurities and dust. Existing systems for cleaning granulated polyethylene do not allow to sufficiently effectively separate impurities from the granulate and purify the air from fibrous impurities.

1 Basic information and schemes for cleaning HDPE from chips and impurities

1.1 Description of the polyethylene purification flow chart

During the pneumatic conveying of polyethylene through pipes, granules are worn on the walls of pipelines with the formation of fibers and dust of polyethylene. The formation of fibers occurs due to the friction of the granules during their sliding along the smooth surface of the pipeline wall. Dust is formed from chipping the surface of the granules on impact.

The presence of fibers in the granulate leads to blockage of unloading pipes of polyethylene from bins, blocking of metering devices and so on.

The presence of fibers in the granulate leads to blockage of unloading pipes of polyethylene from bins, blocking off the proportioning device and so on

To separate the dust from the granulate, all the pneumatic conveying devices are made in the form of a «zigzag apparatus», in which the granules lose speed and fall out of the transport air stream into the bunker due to hitting the wall, abruptly changing the direction of movement and expanding the cross-section of the apparatus. And the dusty transportation air enters to the centralized dust cleaning unit. The section in the «Zigzag apparatus» is chosen in such a way that the air velocity is lower than the soaring speed of the granules and higher than the speed of the dust soaring [3].

In production, the gas purification system is designed to clean the ethylene waste mixture with air, the product formed during pneumatic transposition.

Before cleaning the air mixture of ethylene with air, dust, the product is divided in two ways - in «zigzag» separators and in centrifugal separators. In zigzag-type separators, the separation of the dust-air mixture from the granulate is as follows:

- by repeatedly changing the direction of the mixture movement due to the partitions embedded inside the zigzag, as well as by reducing the speed of movement;
- at the expense of separator, air purge supplied to the hopper for degassing the product and leaving through the separator in the air purification system.

In cyclones, the granules are pressed against the walls of the cyclone due to the gravity and centrifugal forces at the entrance. A mixture of ethylene with air and dust under excessive pressure goes through the central outlet pipe into the gas cleaning system.

Consider a two-step scheme for cleaning the air from dust [4].

The dusty air from the zigzag separators is extracted by the fans and injected into cyclones to separate the air from the large fraction of dust, which is collected from the cyclone cones into a funnel.

The dust accumulated in the funnel is discharged into a mobile container. Partially purified air containing fine polyethylene dust is injected into the lower part of a bag filter. The mixture of air with ethylene, passing through the filter fabric of the bag inside the frames, is cleaned and released from the upper part of the filter housing, into the atmosphere.

Polyethylene dust is deposited on the outer surface of the bag. Periodically, a moment of purge compressed air is given inwards the hoses, causing the vibration of the bag.

In this case, the dust is shaken off the fabric of the bag and is collected in the filter cone. Next, the dust of polyethylene is fed to the sector feeder by the screw and unloaded into a mobile container. From the funnels, the dust is also fed into mobile containers, which they are taken to the warehouse, where the dust with polyethylene granules is manually packed into bags, weighed and then shipped to the consumer.

The gas cleaning lines from the receiving bins must operate continuously. Accordingly, the fans, corresponding unloading augers of bag filters and sector feeders are continuously operating.

In addition, there is a single-stage air purification from intermediate storage bins.

The dusty air of the pneumatic conveying under excessive pressure from the upper parts of the cyclones is directed through pipelines to the lower part of the bag filter.

Dusty air is cleaned, passing through the filter fabric of the sleeves inside the frames. And from the upper side of the filter housing, the air is released into the atmosphere. Polyethylene dust is deposited on the outer surface of the sleeves. Periodically, a pulse of compressed air is blown into the sleeves, which causes the sleeves to vibrate. Dust is shaken off the fabric of the bag and collected in the filter

cone. From the tapered part of the screw and the sector, feeder is unloaded into a mobile container [5].

1.2 Features of the processes that determine the methods of cleaning polyethylene and air from dust and shavings

In the production of high-pressure polyethylene, an impurity is formed in the form of chips, fibers, dust, which degrades the quality of the commercial product. These impurities pollute the product and the air emitted into the atmosphere.

Granulated polyethylene in the process of transportation, mixing can acquire an electric charge, adsorb dust on the surface. The adhesion forces of small particles depend on their size, air humidity, degree of electrization. The adhesion force grows with increasing contact time and reaches a maximum value over a period of more than 1 minute. These forces depend on the contact area, which in turn depends on the size, shape of the particles.

The effect of detaching particles by the airflow from the surface of the granules depends on the flow rate of the granules, the size, and shape of the particles. During the flow-around, a layer of adherent particles, the removal of upper particles can occur, and significant inertial forces acting on the granule can cause the separation of the layer.

Obligatory conditions for the impurities removal should be the following: the movement of the granules in the apparatus with a low concentration, giving the granules significant accelerations for the separation of particles and their subsequent removal. Therefore, the devices designed to clean the granules must have a sufficiently large size to distribute the granules in volume. Devices must have elements to give the granules significant air acceleration [6].

The efficiency of particles separation from the air-flow depends on the size, shape, density of particles. At low speeds, particles can be oriented in any way with respect to the direction of their movement. If the critical value of the regime of flow is reached, the nature of the motion changes. Elongated particles tend to take a

position in which the resistance of the medium would be maximum for plates, scales, etc. It will be the position in which their more developed faces and longer edges are perpendicular to the direction of motion.

Particle resistance depends on the size, shape, regime of the flow of the carrier medium. Particularly low mobility is typical for elongated particles.

The peculiarity of the behavior of the particles, which differ from the spherical shape, determines the design features of the apparatus for separating particles from the carrier medium. For example, in centrifugal cyclone dust separators, the behavior of particles is random, due to the large gradients of the carrier flow of turbulence; the particles are deformed and rolled up into bundles, interacting with each other. This leads to clogging of discharge facility blockage. Therefore, to increase the efficiency and reliability of gas cleaning devices, one uses devices that sequentially separate the fibrous dust and the remaining dust, which has the best flowability [6, 7].

1. 3 Characteristics of existing air purification systems and granulated materials from fibrous impurities

1.3.1 Apparatus for cleaning the foreign grain and granular materials from impurities

An externally developed classifier design is called the «zigzag classifier» (Figure 1).

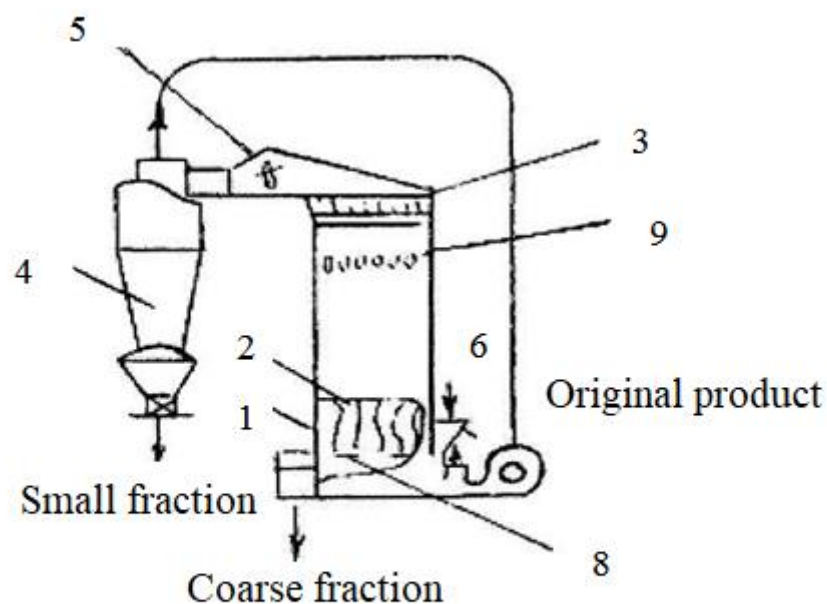


Figure 1 – «Zigzag classifier»

The «zigzag classifier» workspace consists of a number of parallel zigzag channels. The source material enters the perforated chute; the material is blown into zigzag classifying channels, where the separation of fining from large particles occurs. The small particles are removed in a cyclone. The installation can operate in a closed loop, so additional gas cleaning devices are not required. In the zigzag apparatus, the separation of impurities from coarse-grained material occurs as a result of relatively smooth turns of the material. In a cascade apparatus, airflow takes place due to a sudden expansion of flow, sharp turns and repeated circulation of material in the contact area with fixed surfaces.

Also widely used schemes of the air separators of foreign grain. Consider an air separator consisting of an air purification supply unit after separation. The channel is a vertical cylindrical tube, the lower housing of which is connected to a fan with the help of a diffuser. A mesh is installed at the inlet of the diffuser. Grain enters to the grid through the tray and, in the process of moving, is blown by the airflow and removed from the channel through the tray.

It is of interest to use cyclone-type devices for cleaning granules. In these devices, the separation of impurities occurs due to the distribution in the volume and the intensive transfer of impurities from the periphery to the center. Experiments were conducted to identify the nature of the distribution of granulated polyethylene and impurities in the bunker with varying degrees of purging. It was found that the bulk of long-fiber impurities is concentrated in the central zone of the booker. The granules are located on the periphery of the bunker with different content of finings impurities, and the amount of impurities depends on the degree of blowing of the bunker. The experiments were of a qualitative character. Studies on the separation of dust allowed to develop devices for cleaning granulated polyethylene in the volume of the cyclone apparatus. In one embodiment of the purification scheme for granulated polyethylene, a cyclone unloader concentrates the granules on the periphery of the separation volume. Chips and dust are in the paraxial region [9,10].

In the bunker, grain is poured over the tray for additional cleaning into a cascade classifier. Chip from the central part is removed with a special scraper. The advantage of this scheme is the completeness of set since there is no intermediate link for the separation of long-fiber impurities. The disadvantage is the necessity to use scraper devices to remove chips.

1.3.2 Devices for cleaning the air from impurities

Cyclone devices and gas cleaning tissue filters have been found as the greatest equipment to capture the ordinary dust. The efficiency of cyclones is approximately the same at dust concentrations up to 50 g/m^3 . The efficiency of deposition of particles, which diameter is 5 mm and the capacity is $5000 \text{ m}^3/\text{hour}$, depending on the type of cyclone, is 60-80%. Filters require the use of regenerating devices to remove dust from the filter surface.

To clean the air from polyethylene dust, pocket filters are also used. They should have specific filtering surfaces of the fabric (polymer fleece) $1.2 \text{ m}^2/\text{m}^3 \text{ min}$, which allows performing the cleaning process at filtration speeds of less than 0.2 m/s .

At an airflow rate of 250 m³/min, the filter resistance reaches 2500 Pa. Such significant resistance of the pellet ventilation system demanded the use of fans, which speed is 2900 rpm.

During the operation of bag filters, the general characteristic disadvantages of fabric filters were found: rapid wear, damage to the polyester fleece during regeneration, clogging of gaps between bags with fibrous dust. As a result, the bandwidth of the filter decreases.

Recently, gas purification systems with cyclones used as dust concentrators are increasingly used. In this case, cyclones can be placed in parallel, since the hydraulic balance with respect to the resistance of the elements makes it possible to effectively carry out the separation process in each element.

1.3.3 Devices with a predominantly radial transfer of swirling flow to the discharge channel

1. «Skimmer device» - a discharger with dust removal to the peripheral receiver. The «Skimmer device» is a snail chamber in which the dusty stream rotates 180 degrees. The dust is concentrated at the streamlined surface and with a part of the flow enters the receiver. From the receiver, the gas goes into the clean gas pipeline. Inside the chamber, there is a radial straightening apparatus through which the stream enters the clean gas pipeline. Hydraulic resistance does not exceed 500 Pa. The device relieves the flow of large particles [10, 11].

2. «Discharger» - dust collector with external cyclone. The variant with the second stage of dust removal is used. In it, the energy of a swirling flow at the exit of the snail apparatus is implemented for the separation of particles in a direct-flow stage. The theoretical estimation of dust retention capacity is based on the calculation of the trajectories of particles that cross the dust-removing slit [8].

1.3.4 Devices with predominantly direct flow swirling flow

In direct-flow separators, twisting is carried out either by the paddle or side input. The dust concentrate is transported by gas to the gap connected with the receiver. Dust enters the receiver through the slit trench by inertial throwing of large particles in the flow past the slit. The depurated stream goes to the central socket. For small fluxes, the circumferential component of the velocity on the axis equals zero, it grows with radius increasing to a maximum value and then decreases slightly. Strong twists make the main flow move in the peripheral area. Due to ejection effects, reverse annular flow is formed, which turns in the direction of the gas outlet pipe [7].

1.3.5 Devices with predominantly reverse swirling flow

In countercurrent cyclones, the particle size separation zone is realized by height. There is a wide variety of apparatus designs - cyclone dust collectors with countercurrent aerosol movement. In the cyclone, a gas stream with particles suspended in it is introduced through a tangentially located socket into a housing with a screw cap at a speed of 15-25 m/s. Around the exhaust pipe, the flow in the form of a rotating downward spiral is directed along a cylindrical and then conical surface down to the dust-hole. Most of the flow goes to the exhaust pipe under the influence of the pressure difference. The main part of the particles suspended in the gas is thrown to the wall of the cyclone, is collected into bundles and, together with a part of the gas flow, moves downward, passing through the dust outlet hole into the cyclone hopper. In the bunker, the vortex flow changes its direction and loses its speed, as a result, bunch of particles falls out. Particle-free gases, attaching to themselves the parts of the flow that are separated from the downward spiral, move in an upward spiral to the exhaust pipe. Turbulence has a significant impact on the cleaning process, which largely determines the degree of cleaning. The flow entering the exhaust pipe continues to rotate intensively. The attenuation of this rotational motion is relatively slow.

To eliminate the rotational motion at the exit from the cyclone and reduce the hydraulic losses, one use devices like “spinners with diffuser effect”. To ensure

efficiency, you should pay attention to the tightness of the dust valve gate. The permissible concentration of dust in the gases to be cleaned purified gases depends on the properties of the dust and the cyclone diameter. In the process of gases purifying from non-adhering dust in cyclones with a diameter of 800 mm, its density in gases should not exceed 2.5 kg/m^3 ; for cyclones of smaller diameter, the concentration of dust in gases should be less. High concentrations of dust can cause clogging of the dust outlet, which leads to disruption of the normal operation of the equipment [9].

1.4 Development of methods and means of air purification and granulated material from fibrous impurities

The scheme of separation of granulated material from impurities using a “zigzag” separator has two negative points. Firstly, a sufficiently strong vacuum can cause the capture of the granules with dust and their removal into the air purification system. In this case, the loss can be about 50% of the volume of the total granulated polyethylene, cleaned through a «zigzag» device. To prevent this phenomenon, dampers are installed on the suction line of the fans, which slightly open and draw air from the atmosphere, when a certain level of vacuum is reached, begin to. However, this method does not allow preventing losses completely and some amount of granulate still goes into the dust cleaning system. Secondly, the chips in the form of harnesses do not enter the granulate accumulation bunker but get stuck in the outlets. In this case, the entire cleaning system of granulated polyethylene stops, and the workers have to clean the separator manually.

Dust cleaning using cyclones and bag filters also have drawbacks. The carrying capacity of the cyclone decreases with time, and in the end, the cyclone gets clogged and stops working. Therefore, the monitoring of the state of the cyclone is necessary, and its maintenance requires manual labor.

Another disadvantage is that during an emergency stop, the air containing dust is released directly into the atmosphere without purification. The emergency stop of the gas cleaning system is performed in the following cases:

- at blackout;

- in case of fire, explosion;
- at a cessation of supply of compressed air of instrumentation and automation;
- with a sharp increase in the hydraulic resistance of gas dust-catching equipment (filters, cyclones);
- when the fan is turned off;
- at the termination of regeneration of filters;
- when dusting through the leakiness of equipment and ducts - due to cotton in the filter;
- with an increase in emissions into the atmosphere, which may occur as a result of tearing off or wear of the sleeves;
- when cyclones are overloaded with dust;
- at loss of the filtering properties of sleeves.

As a result of the literature and patent documentation analysis, a device called an integrated cleaning unit was proposed to increase efficiency. There are several cleaning steps in this setup (Figure 2).

1. The first stage is a centrifugal separator. The granular material is cleaned in a centrifugal separator due to the transport stream itself. At the top of the separator is a curvilinear channel, at the bottom - a gap. Purified granules enter this gap. Dust and chips are pressed against the wall, coming out with the threads on along the guide to the flap in the center of the vortex and taken out.

Below the channel, where a stream of purge air is introduced, there is a forced vortex reflector, on which radial currents are formed, and then carry out the additional granulate purification.

2. The second stage is the vortex chamber. In the vortex chamber, the air moves in the vortex to the outlet. Particles are concentrated near the wall and enter the dust removal pipe by centrifugal forces. The process is designed in such a way that a certain amount of granulate presented in the flow prevents particles from sticking to the walls. The main carrying capacity is kept maximum throughout the

entire section area, therefore, there is no blocking and impurity arching in the concentrator.

3. The third stage is the filter. Dust residues are collected in the filter. The filter plays an important role after the experiment when the mass balance is reduced.

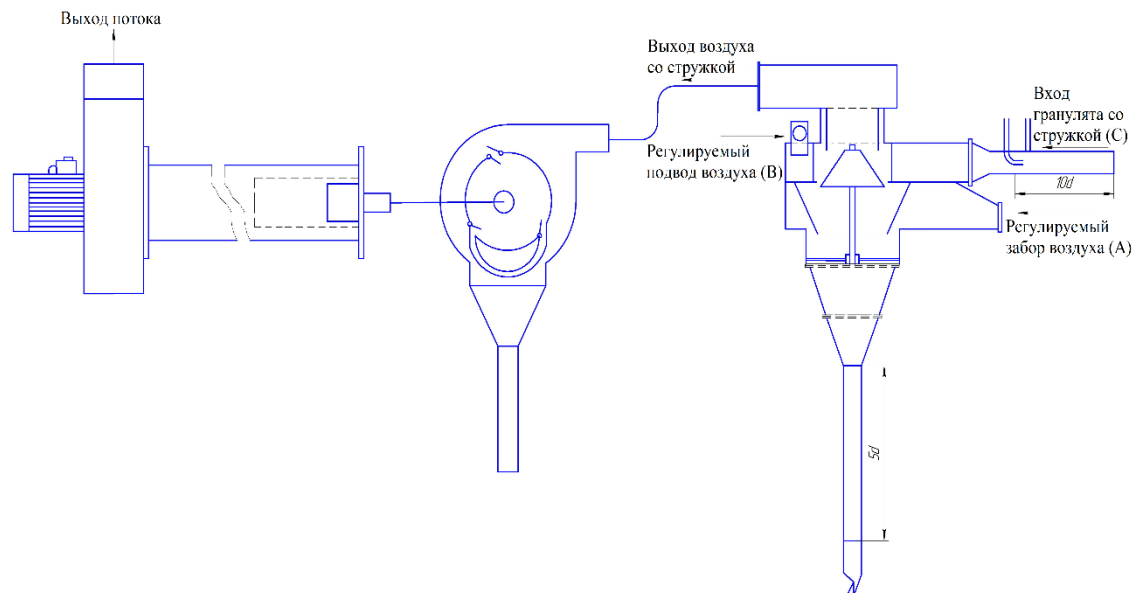


Figure 2 - Installation of complex cleaning

Figure 3 shows a device that can be used as a centrifugal separator. This device consists of a snail housing 1 with a receiver 2 of the cleaned material, in which a conical sleeve is fixed in the form of a movable reflective cone 3, the large base of which is in the conical shell 4. Under the base of the housing 1, an additional scavenging chamber 5 is installed, covering the conical shell 4, with the formation of the gap 6, connected with the receiver 2. To the upper wall of the housing 1 is attached a curved plate 7, covering the pipe for the withdrawal of impurities. In case 1 there is a shutter with a shelf 8 and a hinge 9. Sockets 10 and 11 are attached to the case, and a purge nozzle 12 of additional air is attached to the chamber 5.

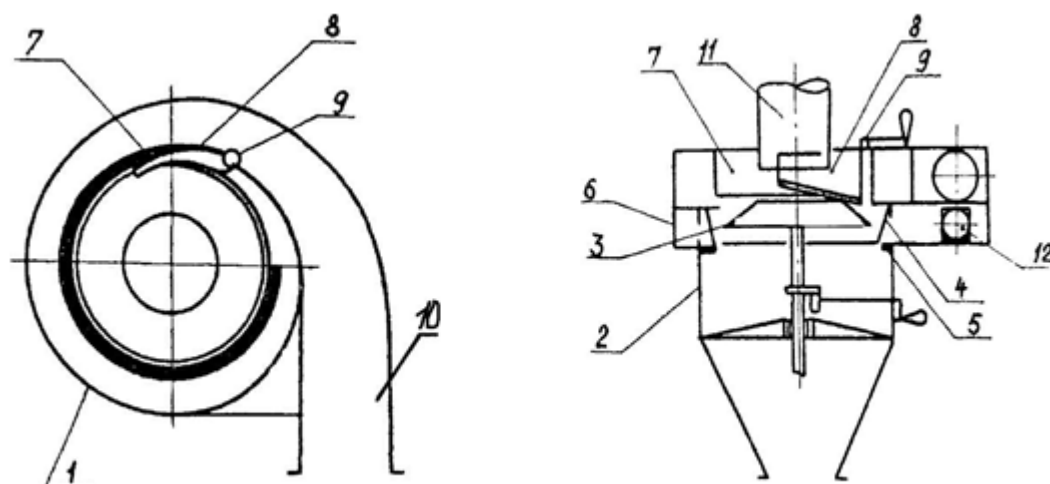


Figure 3 - Centrifugal Separator

The device works as follows [3].

The material impurity from nozzle 10 is transported in a variable cross-section channel formed by the curvilinear surface of housing 1 and plate 7. Grain material is distributed evenly over the cross-section through interaction with the walls of the channel and Magnus forces, while the impurity is separated into the curved surface of the channel. The material along the flow through the gap between the bottom wall of the housing 1 and the plate 7 is blown off by air to the reflective body 3, where it gets to the surface of the shell 4 from and then to the receiver 2. The purge air in the amount of 5-20% of the transport air is supplied through the purge port 12 of chamber 5, where it is distributed evenly around the circumference. The purge gas repeatedly blows the bulk material and locks the transport vortex into the housing 1, preventing it from entering to the receiver 2. A large impurity from the transport channel comes along a curved wall and is discharged into the nozzle 11 through a curtain with a shelf 8. A small admixture is blown off from the granules by a transport gas stream leaking through the gap between the plate 7 and the wall of the housing 1, as well as repeated exposure to the purge air. Thus, the installation of the plate 7 provides the best transporting ability, more intensive blowing of the granules during the electrostatic adhesion of dust on them; shell 4 and the chamber 5 provide a uniform flow through the gaps of the purge air. This allows one to carry out a reliable screening in a wide range of the position of the reflective cone 3 at high

concentrations of the product in the transport line and the conditions of electrification of the material.

Laboratory tests of this installation were performed with a system capacity of 89.8 m³/h at a maximum air-speed in the inlet channel of 22 m/s and a product concentration in the transport line of 0.44 kg/m³ of air.

The efficiency of the separator was estimated by the degree of removal of chips, dust and small granules from the initial product, as well as by the value of the loss of granules.

Based on research were developed simple, compact and reliable devices for cleaning the air from impurities.

Figure 4 shows a device for cleaning gas from dust, which can be used as a dust concentrator in an integrated cleaning unit [4]. The proposed device contains a spiral flue 1 of rectangular cross-section with curved outer 2 and inner 3 side walls. Includes upper 4 and lower 5 walls, removal of purified gas in the form of a longitudinal slit 6, made in the inner wall 3, centrifugal dust precipitator 7, connected to the dust outlet channel 8 located at the outer wall 2 at the exit end of the flue 1. Longitudinal slit 6 is made at a distance α corresponding to the angle $\pi/4$ from the inlet of the pass 1. The height of the slit 6 is 0.2-0.25 of the height h of the inner wall 3 in each section, the cross-sectional area of the dust discharge channel 8 is 0.3-0.5 of the cross-sectional area of the inlet the end of the flue. The dust precipitator is equipped with an exhaust fan 9, the discharge nozzle 10 of which is connected to the inlet of the gas duct 1 at the outer wall 2.

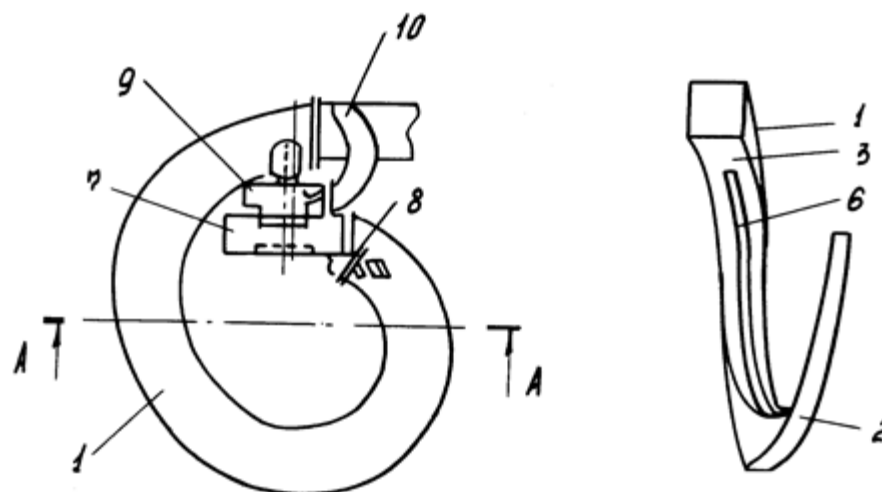


Figure 4 - Dust collector

The gas stream with an impurity under a small pressure of 0.3-0.6 kPa enters the gas duct 1, where particles are concentrated at the peripheral surface of the sidewall 2 due to centrifugal forces. Gas in the amount of 85-95% flows into slot 6, and the rest of the gas, together with the impurity, goes to the precipitator 7. At a distance from the inlet, acceleration, stabilization of the flow and preliminary separation of the particles occurs. In subsequent sections, the transit speed remains constant due to a decrease of the passage section and gas outflow through the slit trench 6. The gas pressure is sufficient in all the channel sections to facilitate gas outflow along the entire length of the slit 6 at a speed close to the transit flow speed along the duct, with the height of the slit 6 in each section 0.2-0.25 wall height 3. The value of the transit speed in the range of 8-20 m/s in all sections of the channel contributes to the reliable transport of impurities prone to sticky on the surface.

The movement of the gas to the gap in all sections is carried out at low velocities, which insignificantly affect the transfer of particles to the gap. Cross-sectional circulation sections to a greater extent contribute to the transfer of particles to the gap. However, due to the curvatures of the gas streamlines, the particles can pass through the separation stage second time and concentrate at the periphery surface. Reducing the height of the flue can significantly decrease the cross-section of the dust extraction channel 8 compared to the section at the flue entrance. This will reduce the amount of gas withdrawn with the admixture in the precipitator 7 without

disturbing the separation. In this case, the best result was achieved with its value of 0.3-0.5 square across the cross-section area of the exit end of the gas flue [13].

In the precipitator 7, the flow in the rotational motion is freed from impurities, which precipitate in the receiver and flow through the centrally located socket into the exhaust fan 9 with the impeller rotating in the direction opposite to the direction of flow in the precipitator 7.

The proposed device allows to reduce emissions of impurities in 2 times in comparison with previously known dust cleaning devices, to effectively provide gas treating from impurities that are prone to sticking to the surface, and, in addition, to save working areas and metal for the production of gas cleaning.

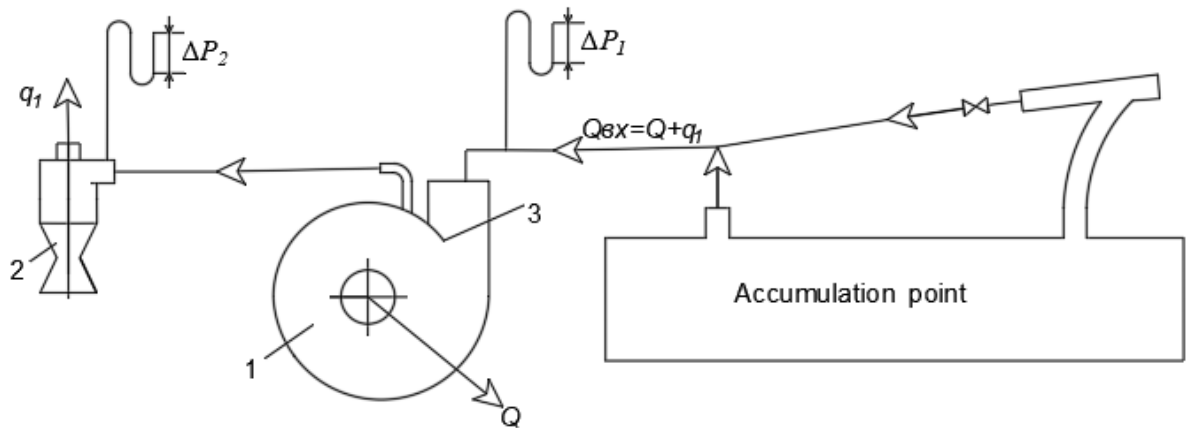


Figure 5 - Separation method from the electrified air flow
polymer impurity

Conclusion

A new technical solution has been developed and proposed for effective HDPE cleaning. Installation cleaning granular material can be applied in industry. The designed technical solution improves the environmental situation and improves the quality of the commercial product.

References

1. "On the protection of atmospheric air" of 04.05.1999, №96-ФЗ.
2. "On Environmental Protection" dated January 10, 2002 No. 7-FZ.
3. A.P. No. 1256816 (USSR). A device for cleaning the grain and granulated materials from impurities / M. V. Vasilevsky, A. T. Roslyak, Zh. A. Anisimov, B. G. Svishchev, N. A. Kochetkov, V. K. Gordeev. - Publ. in B.I., 1986, No. 34.
4. A. P. № 1505566 A device for gas cleaning from dust / M.V. Vasilevsky, A.D. Kolmakov, J.A. Anisimov, A.F. Travnikov, P.N. Zyatikov, A.T. Roslyak, V.P. Dorogin - Publ. in B.I., 1989, No. 33.
5. A. P. No. 1554985 (USSR). The method of separation from the air flow electrified impurities / M. V. Vasilevsky, Zh. A. Anisimov, B. G. Svishchev, N. A. Kochetkov, V. K. Gordeev - Publ. in B.I., 1990, No. 13.
6. Schukin V.S. Heat transfer and hydrodynamics of internal flows in the fields of mass forces. - 2nd ed. reclaiming and add. - M: Mechanical Engineering, 1980. - 240 p.
7. Handbook of dust and ash collection / / Ed. M.I. Birger, A.Yu. Waldberg, B.I. Myagkov et al. Under the general ed. A.A. Rusanov-2 ed. M.: Energoatomizdat, 1983.- 312 p.
8. A.P. 1611405 Dust separator / Vasilevsky, MV, Anisimov, Zh.A., Kozlova, V.V. Roslyak, A.T. , Zyatikov P.N. - Publ. in B.I. 1990, No. 45.
9. Vasilevsky, MV, Zykov, EG. Calculation of Gas Purification Efficiency in Inertial Apparatus: Tutorial. - Tomsk: TPU publishing house, 2005. - 86 p.
10. A.P. 1106756 Shutter for continuous unloading of bulk materials from the tank under vacuum / M.V. Vasilevsky, J.A. Anisimov, Yu.A. Chernov.- B.I. 1984, No. 29.

Приложение Б

(рекомендуемое)

Данные по расходам и скоростям для всех серий экспериментов

Значения скоростей воздуха на входах А, В и С (м/с)

Таблица Б.1 - Результаты проведения эксперимента в следующей вариации: конус в верхнем положении, шторка под углом 40° к входному потоку, воздуходувка не подключена

	Вход А открыт на 33%	Вход А открыт на 66%
Вход А	9,5	12,8
Вход С	23,1	20,9

Таблица Б.2 - Результаты проведения эксперимента в следующей вариации: конус в верхнем положении, шторка под углом 40° к входному потоку, воздуходувка подключена

	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 25%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 25%
Вход А	8,2	8,4	9	6,5	6,8	7,1
Вход В	11	10,7	10,4	11,3	11	10,6
Вход С	15,3	15,5	15,9	16,5	16,6	17

Таблица Б.3 - Результаты проведения эксперимента в следующей вариации: конус в верхнем положении, шторка под углом 80° к входному потоку, воздуходувка подключена

	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 25%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 25%
Вход А	8,1	8,2	8,6	6,3	6,6	6,9
Вход В	10,8	10,6	10,2	11	10,7	10,4
Вход С	15,1	15,4	15,7	16,2	16,6	17,1

Таблица Б.4 - Результаты проведения эксперимента в следующей вариации: конус опущен на 2,5 см., шторка под углом 40° к входному потоку, воздуходувка не подключена

	Вход А открыт на 33%	Вход А открыт на 66%
Вход А	9,8	11,2
Вход С	21,1	18,8

Таблица Б.5 - Результаты проведения эксперимента в следующей вариации: конус опущен на 2,5 см., шторка под углом 40° к входному потоку, воздуходувка подключена

	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 25%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 25%
Вход А	8,7	9,3	9,7	5,8	6,1	6,6
Вход В	11,7	11,3	10,7	11,7	11,3	10,7
Вход С	12,9	3,2	13,4	16,3	16,4	16,9

Значения расходов воздуха на входах А, В и С ($\text{м}^3/\text{мин}$)

Таблица Б.6 - Результаты проведения эксперимента в следующей вариации: конус в верхнем положении, шторка под углом 40° к входному потоку, воздуходувка не подключена

	Вход А открыт на 33%	Вход А открыт на 66%
Вход А	0,65	0,87
Вход С	1,57	1,42

Таблица Б.7 - Результаты проведения эксперимента в следующей вариации: конус в верхнем положении, шторка под углом 40° к входному потоку, воздуходувка подключена

	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 25%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 25%
Вход А	0,56	0,57	0,61	0,44	0,46	0,48
Вход В	0,75	0,73	0,71	0,77	0,75	0,72
Вход С	1,04	1,05	1,08	1,12	1,13	1,16

Таблица Б.8 - Результаты проведения эксперимента в следующей вариации: конус в верхнем положении, шторка под углом 80° к входному потоку, воздуходувка подключена

	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 25%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 25%
Вход А	0,55	0,56	0,59	0,43	0,45	0,47
Вход В	0,73	0,72	0,69	0,75	0,73	0,71
Вход С	1,03	1,05	1,07	1,10	1,13	1,16

Таблица Б.9 - Результаты проведения эксперимента в следующей вариации: конус опущен на 2,5 см., шторка под углом 40° к входному потоку, воздуходувка не подключена

	Вход А открыт на 33%	Вход А открыт на 66%
Вход А	0,67	0,76
Вход С	1,44	1,28

Таблица Б.10 - Результаты проведения эксперимента в следующей вариации: конус опущен на 2,5 см., шторка под углом 40° к входному потоку, воздуходувка подключена

	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 25%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 25%
Вход А	0,59	0,63	0,66	0,39	0,42	0,45
Вход В	0,8	0,77	0,73	0,8	0,77	0,73
Вход С	0,88	0,9	0,91	1,11	1,12	1,15

Значения расходов воздуха на входах А, В и С от общего расхода в процентных соотношениях

Таблица Б.11 - Результаты проведения эксперимента в следующей вариации: конус в верхнем положении, шторка под углом 40° к входному потоку, воздуходувка не подключена

	Вход А открыт на 33%	Вход А открыт на 66%
Вход А	29	38
Вход С	71	62

Таблица Б.12 - Результаты проведения эксперимента в следующей вариации: конус в верхнем положении, шторка под углом 40° к входному потоку, воздуходувка подключена

	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 25%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 25%
Вход А	24	24	25	19	20	20
Вход В	32	31	29	33	32	31
Вход С	44	45	45	48	48	49

Таблица Б.13 - Результаты проведения эксперимента в следующей вариации: конус в верхнем положении, шторка под углом 80° к входному потоку, воздуходувка подключена

	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 25%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 25%
Вход А	24	24	25	19	19	20
Вход В	32	31	30	33	32	30
Вход С	44	45	46	48	49	50

Таблица Б.14 - Результаты проведения эксперимента в следующей вариации: конус опущен на 2,5 см., шторка под углом 40° к входному потоку, воздуходувка не подключена

	Вход А открыт на 33%	Вход А открыт на 66%
Вход А	32	37
Вход С	68	63

Таблица Б.15 - Результаты проведения эксперимента в следующей вариации: конус опущен на 2,5 см., шторка под углом 40° к входному потоку, воздуходувка подключена

	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 66% Вход В открыт на 25%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 75%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 50%	Вход А открыт на 33% Вход В открыт на 25%
Вход А	26	28	29	17	18	19
Вход В	35	33	32	35	33	31
Вход С	39	39	40	48	49	49

